

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Faktory ovlivňující uchycení vegetace během sukcese v čedičových lomech

Factors influencing vegetation establishment during spontaneous succession in basalt quarries

Diplomová práce

Anna Petrů

Vedoucí práce: prof. Ing. Mgr. Jan Frouz, CSc.

Praha, 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Dále prohlašuji, že předložená tištěná verze diplomové práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne 11.8.2017

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli prof. Ing. Mgr. Janu Frouzovi, CSc. za trpělivost během vedení práce a za cenné rady a připomínky. Dále děkuji Botanickému ústavu AV ČR v Průhonicích za poskytnutí prostor pro založení experimentu a zvláště pak Dr. RNDr. Janě Rydlové za poskytnutí veškeré podpory. Můj dík patří taktéž Stavební fakultě ČVUT v Praze a jmenovitě doc. Ing. Václavu Kurážovi, CSc. a Ing. Tomáši Princovi za ochotu a možnost uskutečnit měření v prostorách Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství. Děkuji Mgr. Ivanu Kulichovi, Ph.D. za zapůjčení skeneru a taktéž za jeho rady.

Nelze také zapomenout na společnost CEMEX Sand, k.s. a Mgr. Tomáše Hubálka, bez kterých by tato práce nevznikla a jsem vděčna taktéž Martinu Taušovi za poskytnutí přístupu do lomu Smrčí. V neposlední řadě si cením psychické a materiální podpory všech mých blízkých.

Použité zkratky

ANOVA	analýza variance
BV	bod vadnutí
DPI	dots per inch
ID	identifikační číslo
MN	mimo normu
ODV	objem dostupné vody
PVK	polní vodní kapacita
RGB	red-green-blue kanál
SE	střední chyba průměru

Obsah

Seznam tabulek	6
Seznam obrázků	7
Abstrakt	8
Abstract	9
1. Úvod	10
1.1 Hypotézy.....	11
1.2 Spontánní sukcese.....	11
1.3 Potenciál oblastí postižených antropogenní činností	12
1.4 Uchycení vegetace na hrubozrnných substrátech	14
1.4.1 Vliv substrátu na uchycení rostlin	15
1.4.2 Vliv hydrologických procesů v substrátu na uchycení rostlin.....	17
2. Metodika	20
2.1 Materiál	20
2.1.1 Lokalita a výběr druhů.....	20
2.1.2 Substrát	21
2.2. Popis experimentu	21
2.2.1 Osetí a údržba.....	22
2.2 Analýzy	24
2.2.1 Sčítání jedinců	24
2.2.2 Nadzemní a podzemní biomasa	24
2.2.3 Specifická plocha listu (SLA)	24
2.2.4 Hydrolimity	25
2.2.5 Zpracování dat.....	26
3. Výsledky.....	27
3.1 Sčítání jedinců	27
3.2 Nadzemní a podzemní biomasa	31
3.3 Specifická plocha listu (SLA)	34
3.4 Hydrolimity	35
4. Diskuze.....	42
5. Závěr	46
Zdroje	47

Seznam tabulek

Tab. 1 Jednotlivých sedm frakcí a jejich označení (ID) používané v práci.....	21
Tab. 2 Osm druhů směsí a jejich označení (ID) používané v práci	22
Tab. 3 P-hodnoty souhrnných výsledků ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí	38
Tab. 4 P-hodnoty souhrnných výsledků ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí	38
Tab. 5 Souhrnné výsledky ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí.....	39
Tab. 6 Souhrnné výsledky ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí.....	40
Tab. 7 Souhrnné výsledky ANOVY jednoduchého třídění hydrolimitů substrátu	41

Seznam obrázků

Obr. 1 Experimentální pokus ve skleníku Botanického ústavu AV ČR.....	22
Obr. 2 Jednotlivé frakce (sloupce, zleva 32-63 až 0-4j mm) po 5 opakováních pro pelyněk ve 3. týdnu .	23
Obr. 3 Jednotlivé frakce (sloupce, zleva 32-63 až 0-4j mm) po 5 opakováních pro pelyněk v 11. týdnu .	23
Obr. 4 ANOVA průměry (SE, n=5), ukazující statistický rozdíl ($p<0,001$) pro finální počet jedinců u frakcí v případě pelyňku, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny	28
Obr. 5 ANOVA průměry (SE, n=5), ukazující statistický rozdíl ($p=0,033$) pro finální počet jedinců u směsí frakcí v případě smělku, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny	28
Obr. 6 ANOVA průměry (SE, n=5), ukazující statistický rozdíl ($p=0,006$) pro finální počet jedinců u směsí frakcí v případě vrbovky, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny	29
Obr. 7 Proměna vzklíčených počtu jedinců v čase pro jednotlivé frakce (n=5) u pelyňku.....	30
Obr. 8 Proměna počtu jedinců v čase pro jednotlivé frakce (n=5) u lipnice	31
Obr. 9 ANOVA průměry (SE, n=5) ukazující statistický rozdíl ($p<0,001$) pro nadzemní a podzemní sušenou biomasu a jednotlivé frakce v případě lipnice, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny	32
Obr. 10 ANOVA průměry (SE, n=5) ukazující statistický rozdíl ($p<0,001$) pro nadzemní a podzemní sušenou biomasu a jednotlivé frakce v případě pelyňku, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny	33
Obr. 11 ANOVA průměry (SE, n=5) ukazující statistický rozdíl ($p<0,001$) pro specifickou plochu listu a jednotlivé frakce v případě smělku, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny	35
Obr. 12 ANOVA průměry (SE, objem vody n=3, hmotnost sušiny n=5) ukazující růst objemu dostupné vody pro rostliny s hmotností nadzemní sušiny pro pelyněk a frakce 8-16, 4-8, 2-4, 0-4 a 0-4j	36
Obr. 13 ANOVA průměry (SE, objem vody n=3, hmotnost sušiny n=5) ukazující růst objemu dostupné vody pro rostliny s hmotností nadzemní sušiny pro pelyněk a směsi frakcí 8-16(10j), 4-8(10j), 8-16(50j) a 4-8(50j)	37

Abstrakt

Řada důlních a stavebních operací produkuje plochy charakteristické akumulací velmi hrubého substrátu, šterku, valounů či větších kamenů. Zároveň narůstá zájem o využití spontánních procesů při ozeleňování ploch vzniklých těžbou nerostů. Otázkou je, zda vegetace je schopna se na těchto substrátech uchytit. Tato práce se zabývá tím, jak se uchycuje vegetace na substrátech různé zrnitosti a jak schopnost těchto substrátů podporovat vegetaci souvisí s hydrologickými limity substrátu. Snahou je pak najít limitní hodnoty hydrolimitů, které podporují rozvoj vegetace. Proto byl v laboratorním pokusu sledován růst čtyř druhů bylin typických pro skalní trávníky na čediči (smělek štíhlý, vrbovka úzkolistá, pelyněk ladní pravý a lipnice hajní) na průmyslově vyráběných frakcích čediče (0-4, 2-4, 4-8, 8-16, 11-22 a 32-63 mm) a jejich směsích se základem hrubozrnných (4-8, 8-16 a 11-22 mm) a 10% či 50% přídavkem jemnozrnější frakce (0-4 mm). Byl změřen počet vzešlých jedinců, nadzemní a podzemní suchá biomasa a vypočítána specifická plocha listu (SLA). Byly změřeny půdní hydrolimity substrátu: polní vodní kapacita (PVK) a bod vadnutí (BV), ze kterých byl vypočten objem dostupné vody (ODV) jako rozdíl polní vodní kapacity a bodu vadnutí. Výsledky potvrdily pokles úspěšnosti uchycení vegetace se vzrůstající velikostí zrn substrátu. Ke skokovému nárůstu biomasy došlo u frakce 0-4 mm, která má objem dostupné vody pro rostliny 8-9 objemových %. Také přídavek této 50% frakce do jakékoliv hrubší frakce vedl k dobrému uchycení rostlin. Přitom nezáleželo na velikosti frakce základu, nýbrž spíše na procentu přídavku jemnější frakce. Tento poznatek lze využít během rekultivací, kdy pro vytvoření plošek vhodných pro uchycení rostlin není nutno hrubozrnné substráty (průměr 4-22 mm) dále drtit na jemnější. Stačí dodat jemnozrnný substrát (průměr < 4 mm) tak, aby v kořenové vrstvě jeho podíl byl přibližně poloviční.

Klíčová slova: spontánní sukcese, hydrologické limity, hrubozrnný substrát, čedič

Abstract

Mining and construction industry is a major environmental disturbance creating habitats with extremely coarse material: gravel, cobbles and boulders. Simultaneously, there is an increasing interest in using spontaneous succession during restoration processes on those areas. This leads to a question if vegetation can establish on such coarse substrates. This project assessed the vegetation establishment on substrates with different grain size as well as the hydrological limitations of those substrates. The aim of this study was to find substrate moisture characteristics supporting vegetation establishment. Four herb species (*Koeleria macrantha*, *Epilobium angustifolium*, *Artemisia campestris* var. *campestris* and *Poa nemoralis*) typically occurring on xerothermic basalt rocks were sowed on basalt construction aggregates (0-4, 2-4, 4-8, 8-16, 11-22 and 32-63 mm). There were also made mixtures of coarse aggregates (4-8, 8-16 and 11-22 mm) as a base with 10% or 50% additive of fine aggregates (0-4 mm). The final number of individuals, aboveground and belowground dry biomass were measured and subsequently specific leaf area (SLA) was calculated. They were also measured substrate moisture characteristics: field capacity (PVK) and wilting point (BV) from which available water content (ODV) was obtained as well. Available water content was calculated as the difference between field capacity and wilting point. It was confirmed that successful vegetation establishment decreases with increasing substrate grain size. The significant biomass growth was observed for aggregates of 0-4 mm size. The volume of available water content for this grain size was approximately 8-9 %. Similarly, the 50% additive of this grain size to any coarse substrates led to a successful vegetation establishment. Surprisingly, the successful vegetation establishment depended on a percentage of fine aggregate additive rather than on grain size of the base. This knowledge can be taken as an advantage for restoration projects when there is no need to crush coarse substrates (4-22 mm) and use it for sites determined for vegetation establishment. It is sufficient to add fine aggregates (< 4 mm) in a volume to have approximately 50 % of this substrate available for plant roots.

Keywords: spontaneous succession, substrate water characteristics, construction aggregates, basalt

1. Úvod

V dnešní době průmyslové krajiny vznikají důsledkem přetváření krajinného rázu nová stanoviště, charakteristická raně sukcesním stádiem. Tato disturbovaná stanoviště mohou být významnými stanovišti vzácných a ohrožených druhů (Tropek et al., 2010). Snahou je proto zapojovat tyto habitaty do krajiny a právě princip spontánní sukcese během rekultivací těchto míst se využívá stále častěji (Prach et al., 2013). Je proto vhodné se zamyslet, jak fungují procesy při uchycování vegetace na tomto specifickém materiálu. Specifickou skupinou materiálů jsou materiály s velkou hrubozrnností substrátu vznikajících při těžbě a zpracování kameniva a při některých stavebních pracích. Předchozí výzkumy známé z vědecké literatury (Rydgren et al., 2011) a bakalářská práce autorky (Petrů, 2014) ukázaly, že uchycení vegetace se zhoršuje s velikostí zrn substrátu. Z pedologické literatury je známo, že s větší zrnitostí substrátu se snižuje dostupnost vody pro rostliny (Brady a Weil, 2008). Lze tedy očekávat, že hlavním důvodem špatného uchycování rostlin na těchto substrátech je právě nedostatek dostupné vody pro rostliny. Neexistují však studie, které by se tímto tématem zabývaly hlouběji a detailněji popsaly, jak hrubozrnnost substrátu souvisí se schopností substrátu zadržovat vodu a s jejím uchycením rostlin. Tato práce se snaží tuto mezeru zaplnit a zjistit hranici hrubozrnnosti substrátu, která limituje uchycení vegetace.

Tato práce vznikla na podnět společnosti CEMEX Sand, k.s., předního celosvětového výrobce a dodavatele betonu a betonových směsí, kameniva, cementu, přísad a dalších stavebních materiálů. Společnost zajímalo, zda při těžbě a zpracování stavebního kamene nelze nějak účelně využít odpadu, který vzniká během výroby. Těžební a zpracovatelský odpad se dá charakterizovat jako směs různých druhů frakcí a drtě kamene, který nemá již užitek v dalším zpracování. Protože firma CEMEX klade důraz na šetrné využívání přírodních zdrojů a stará se o funkční zapojení vytěžených ploch do krajiny, smyslné rekultivační projekty jsou nedílnou součástí její práce. V současné době začíná upozorňovat i na roli spontánní sukcese a snaží se tento přístup přírodě blízké obnovy aplikovat i na svoje plochy (Cemex, 2017b). Proto se autorka v této práci zabývala možnostmi využití jemnozrnějších frakcí těžebního a stavebního odpadu pro zlepšení uchycení rostlin na hrubozrnných substrátech vzniklých jako odpad při těžbě čediče a možnostmi rozvoje vegetace na takto připravených substrátech během spontánní sukcese.

1.1 Hypotézy

Cílem této práce je objasnit potenciál hrubozrnných substrátů vzniklých jako odpad při těžbě čediče v úloze spontánní sukcese a pokouší se odpovědět, jaký vliv mají hrubozrnné substráty na uchycení vegetace. Zprvė se zabývá tím, jak působí samotná hrubozrnnost na vzklíčení a přežití semen, souhrnně nazýváno jako *úspěšné uchycení vegetace* (měřeno počtem životaschopných jedinců v čase, nadzemní a podzemní biomasou a specifickou plochou listu). Zadruhé, jaké jsou hydrologické procesy v substrátu, tedy jak úspěšně dokáže substrát poskytnout dostupnou vodu pro rostliny, souhrnně nazýváno jako *dostupnost vody v substrátu* (měřeny hydrologické limity polní vodní kapacita a bod vadnutí).

Byly formulovány tyto hypotézy:

- 1) Úspěšné uchycení vegetace a dostupnost vody v substrátu klesá se vzrůstajícím stupněm zrnitosti.
- 2) Úspěšné uchycení vegetace a dostupnost vody v substrátu tvořeném směsí různě velkých zrn bude ovlivněno podílem jemnější frakce nikoliv velikostí zrn hrubší frakce.

1.2 Spontánní sukcese

Spontánní sukcesi můžeme chápat jako proces kolonizace uchycení a změny druhů a potažmo vývoje celých společenstev, spějící do stabilního stádia (klimax). Jedná se o neperiodickou a dlouhodobou změnu, která probíhá na stanovišti určitým směrem (Begon et al., 1997). Prach et al. (2013) ve své studii porovnávali spontánní sukcesi na lokalitách různě disturbovaných předcházející těžbou. Směr a rychlost sukcese byly nejvíce ovlivněny klimatickými poměry, kdy chladnější a vlhčí lokality směřovaly k vývoji na lesní společenstvo rychleji než ostatní. V raně sukcesních stádiích však napříč všemi lokalitami dominovaly ruderální rostlinné druhy a s narůstajícím časem se rozdíly zvětšovaly. Souvislá plocha vegetace se všude vyvinula po cca 10-20 letech s výjimkou silně degradovaných rašelinišť. V případě kamenolomů je spontánní

sukcese podmíněna několika zásadami, které usnadňují rychlost a směr sukcese. Lomy by se měly spíše zahlubovat a rozhodně není doporučeno odtěžovat krajinné dominanty. Po ukončení těžby není vhodné odstraňovat volné kamení a suť, které poskytuje vhodný základ pro raně sukcesní stádia (Tropek et al., 2010). Spontánní sukcese je v kamenolomech očekávána jako poměrně rychlá a bez obtíží. Kamenolomy nedosahují rozlohou velkých rozměrů a často na členitých lomových stěnách dochází k částečné sukcesi již během provozu (Chuman, 2006). V případě kamenolomů čedičových je směr sukcese závislý na typu vegetace v nejbližším okolí lomu. Velký vliv na lokalitu má přítomnost xerothermních trávníků a za těchto okolností nemusí na čedičovém substrátu vůbec dojít k nastoupení dřevin (Novák a Prach, 2003). Novák (2006) však poznamenal, že v posledních 50 letech ubývá přirozených xerothermních stanovišť a to vlivem poklesu pastvy. Díky tomuto poznatku lze usoudit, že sukcese v čedičových lomech bude směřovat spíše k lesní vegetaci (Novák, 2006).

1.3 Potenciál oblastí postižených antropogenní činností

Místa pozměněná těžbou jako jsou lomy, skrývky a důlní prostory reprezentují v dnešní krajině jeden z nejvýraznějších příkladů extenzivní průmyslové činnosti. Ačkoliv se tato místa mohou zdát jako nenávratně zničená, je zdokumentováno na příkladech cévnatých rostlin (Wheater a Cullen, 1997) a členovců (Beneš et al., 2003), že těžební prostory představují cenná stanoviště pro vzácné druhy organismů vyžadující opakovaně disturbované, raně sukcesní plochy s vysokou heterogenitou povrchu a extrémními abiotickými faktory (Schulz a Wiegand, 2000). Intenzivně zemědělsky a průmyslově obhospodařovaná krajina, která je silně eutrofizovaná (hlavně dusíkem a fosforem), dnes tvoří značnou část rozlohy střední Evropy. Řada druhů je tak nucena hledat oligotrofní stanoviště v prostorách ovlivněných těžebními aktivitami (Prach et al., 2013).

Těžební aktivity ovlivnily okolo 1 % zemské pevniny (Walker, 1999). V případě České republiky a střední Evropy se jedná o 0,8 % plochy, kde dle Pracha et al. (2011) má potenciál spontánní obnovy 95 až 100 % disturbovaného území. Konkrétně se jedná o 650 km² rozlohy České republiky, jež takřka dosahuje rozlohy národního parku Šumava. Těžba stavebního kamene je soustředěna do místních oblastí a jednotlivých regionů a je v České republice rozmístěna

rovnoměrně. Drcené kamenivo je zboží nízké hodnoty a proto jeho distribuce funguje na lokální úrovni (Tropek et al., 2010). Na území České republiky najdeme k roku 2015 celkem 541 výhradních a nevýhradních ložisek stavebního kamene, přičemž se těží na 210 z nich. 166 těžených lokalit spadá do výhradních ložisek (Česká geologická služba, 2016).

Horní zákon č. 44/1988 Sb. nařizuje všem těžařům rekultivovat místa dotčená těžbou vyhrazených ložisek a vytvářet na ně finanční rezervy (Zákon č. 44/1988 Sb.). Lze rozčlenit několik druhů rekultivací podle způsobu využití. Jsou to rekultivace zemědělské, lesnické, hydrické a rekreační. Dále jsou možnosti využití plochy jako staveniště, odklady stavebního materiálu, průmyslových či komunálních odpadů (Štýs et al., 1981). Převážnou většinu 90. let 20. století počátku 21. století docházelo v rámci rekultivací k technickému zarovnání povrchu, navrstvení organického materiálu bohatého na živiny a následnému zasetí průmyslových semenných směsí či stromových semenáčků do řad (Štýs a Braniš, 1999). Dle vědeckých studií (př. Wiegleb a Felinks, 2001; Prach et al., 2013) však je možno dosáhnout cílového prostoru taktéž metodou přírodě blízké obnovy, potenciálně spontánní sukcesí. Od roku 2009 pronikl tento alternativní přístup i do publikací vydávaných Českou geologickou službou a Ministerstvem životního prostředí a je navrhován pro českou legislativu jako rovnocenný k doposud převládajícím lesnickým a zemědělským rekultivacím (Česká geologická služba, 2016). Jeho realizace je však stále málo rozšířená, Prach et al. (2011) odhadují, že pro spontánní sukcesi na plochách ovlivněných těžbou uhlí je ponecháno pouhých 0,01 % rozlohy. To je v porovnání např. s Německem, kde se nechává 15 % těžeben samostatnému vývoji, velmi nízké procento (Řehouňková, 2006). Důvod tohoto velkého rozdílu může mít příčinu v období socialismu, kdy tehdejší národní hospodářství nechávalo prostory dolů a lomů po ukončení těžby opuštěné. Po roku 1989 je snahou tato místa navrátit do původního stavu a bez předchozího uvažování se na ně plošně aplikují metody technické rekultivace (Prach et al., 2001). Autoři uvádějí jako příklad nevhodné rekultivace část Halámské pískovny, kde po spontánní sukcesi byly již přítomny několik let staré borovice. V rámci rekultivačních plánů však došlo k zarovnání terénu a nově vzniklý prostor byl opět osázen semenáčky borovic.

Rostoucí světová lidská populace má stále zvyšující se nároky na energii a vzhledem k motivaci společnosti využívat energii z obnovitelných zdrojů, krajina je přetvářena stále více a více k účelu dobývání energie. Příkladem tohoto počínání jsou stále oblíbenější hydroelektrárny, kdy vodní energie vévodí druhým obnovitelným zdrojům a taktéž krajinně zcela zásadně a

nenávratně mění ráz (Lincoln, 2005). Se vzrůstajícím počtem měst a civilizovaných oblastí roste i extenzivní stavba železničních a automobilových komunikací (Chen et al., 2013). Výše uvedené příklady pochopitelně nejsou jedinými, jež zásadně přeměňují habitaty po celém světě, ale pro konkrétní příklad lze uvést ukázkou proměny krajiny ražbu tunelů (Rydgren et al., 2011). Během stavby tunelů vznikají v krajině nové útvary v podobě deponií, skrývek a výsypek a tato nová stanoviště jsou charakteristická hrubozrnným substrátem a často příkrými svahy, které mají ze své podstaty nestabilní životní podmínky pro uchycení vegetace v důsledku hlavně půdní eroze (Chen et al., 2013). Tato stanoviště jsou však právě v rámci prevence půdní eroze osazována vegetací a tudíž dochází k jejich ozelenění, což také pozitivně ovlivňuje vzhled krajiny.

1.4 Uchycení vegetace na hrubozrnných substrátech

V předchozích kapitolách byly definovány příklady z praxe, při kterých důsledkem antropogenní činnosti vznikají nové krajinné útvary, charakteristické hrubozrnností substrátu a raně sukcesním stádiem. Ty díky snížené schopnosti zadržovat vodu vedou k neschopnosti poskytnout dostatek dostupné vody pro růst rostlin. Protože tato stanoviště nejsou v dnešní době industrializace ničím neobvyklým, je důležité se zamyslet nad tím, zda by tyto substráty nešlo rekultivovat s použitím spontánní sukcese. Všeobecně se ví, že zrnitost s sebou nese potíže s uchycením vegetace (př. Rydgren et al., 2013), hlouběji se tímto tématem však ještě nikdo nezabýval. Dalšími faktory ovlivňující uchycení vegetace během sukcese jsou mimo abiotických podmínek (oslunění, expozice, klimatické podmínky) taktéž podmínky biotické formou konkurence (Peltzer a Kochy, 2001).

Vzklíčení semen a nadále rostoucí semenáčky ovlivňují biotické a abiotické podmínky prostředí a jejich vlivy na semena se liší od těch, které působí na semenáčky (Chambers, 1995). Pokud jakkoliv pomineme biotické faktory působící na vegetaci, které se významně liší místo od místa a taktéž proměnlivé podmínky životního prostředí (př. teplota, délka slunečního svitu, intenzita, vlhkost, srážky, tlak atd.), pak nám zbydou dva velmi důležité faktory determinující úspěch uchycení. Tím je samotná zrnitost substrátu a jeho hydrologické poměry v něm. Těmito tématy se budou zabývat následující kapitoly.

1.4.1 Vliv substrátu na uchycení rostlin

Úspěšnost uchycení semen rostlin na substrátu determinuje jak samotná velikost semene a pochopitelně specifické útvary sloužící k zachycení, tak též velikost částic substrátu. Chambers (1995) zaznamenala, že velká semena se na rozdíl od malých špatně uchycují na jemnějších substrátech a mají tendenci se pohybovat horizontálně. V případě hrubozrnného substrátu se lépe udržují na částicích a často propadávají vlivem větší gravitace do nižších pater substrátu.

Je obecně známo, že větší semena lépe odolávají stresu a v limitovaných podmínkách úspěšněji klíčí (Moles a Westoby, 2004), Chambers (1995) však nepozorovala větší úspěšnost přežití velkých semen (délka semen \pm SE (mm), $n = 20$: *Silene acaulis* $1,1 \pm 0,02$ a *Agoseris glauca*, $21,1 \pm 0,66$) na více hrubozrnných substrátech (frakce 0-0,5 mm až 8-16 mm).

Je obecně potvrzeno, že hrubozrnnější substráty mají horší podmínky pro uchycení vegetace (Chambers, 1995; Martínez-Ruiz et al., 2001; Hagen et al, 2014), ale v případě konkávního povrchu či krajinné deprese malého měřítka lze pozorovat zvýšený výskyt rostlin i na hrubozrnných substrátech specifikovaných jako zrna mezi 2 a 20 mm v průměru (Jumpponen et al., 1999). Důvodem pro toto pozorování uvádějící autoři článku mohou být dutiny, které mezi sebou mají hrubozrnné částice a fungují jako záchyťová místa. Stejně tak hrubozrnné částice mohou částečně „pohřbít“ semena v proláklíně a udržet tak svoji polohou větší půdní vlhkost než by tomu bylo u větších frakcí typické.

V experimentu (Chambers, 1995) autorka také pozorovala částečný úspěch vzklíčení semen na frakcích o průměrech 0-0,5 mm až 4-8 mm, přesto takřka žádné semenáčky nepřežily 3 měsíční sledování na frakcích větších než 1-2 mm. V rámci experimentu bylo *ex situ* vysázeno 8 druhů vysokohorských druhů rostlin na frakcích 0-0,5 mm až 8-16 mm a jejich poměrových směsích: jemná (50 % základu frakce 0-0,5 mm), střední (35 % a 35% pro frakce 1-2 a 2-4 mm) a hrubá (50 % základu frakce 8-16 mm). Na směsích nebyl pozorován rozdíl v počtu vzklíčených jedinců, přežití bylo však úspěšnější v jemné směsi.

Hagen et al. (2014) studovali vzklíčení a uchycení dvou druhů trav (*Festuca rubra* a *F. ovina*) spolu s dřevinou (*Betula nana*) v laboratorních podmínkách na dvou půdních typech (jemnozem a hrubozem, nespecifikováno průměrem částic). Pro oba travní druhy byla výsledná hmotnost celkové sušiny signifikantně nižší na hrubozrnném substrátu než na jemnozrnném,

ačkoliv procento vzklíčených jedinců se signifikantně nelišilo napříč půdními druhy. To je potvrzeno i výzkumy Chambers (1995) a Rydgren et al. (2013).

Studie ze Španělska (Martínez-Ruiz et al., 2001) se zaměřila na spontánní sukcesi v uranových dolech, kde bylo využito substrátu nevhodného pro další zpracování, tudíž nepříliš radioaktivního, bez organické hmoty. Ten byl uložen do výsypek rozdělených podle zrnitosti na nedrcený a drcený odpad (částice <15 mm). Autoři konstatují vysokou druhovou diverzitu během prvního roku sukcese u obou substrátů navzdory tomu, že v těchto podmínkách jsou všeobecně díky složité adaptaci schopny přežít jen některé druhy (Puerto et al., 1982). Nicméně tento jev lze vysvětlit i dostatkem prostoru pro růst rostlin, tedy absencí prostorové konkurence, jak tomu bylo pozorováno již ve studii Grubba (1976), kdy si rostliny díky dostatku životního prostoru nekonkurují.

Co se týče výsledné pokryvnosti hrubozrnného substrátu, Rydgren et al. (2013) studovali až 100 let staré výsypky v západním Norsku po stavbě tunelů, které byly rekultivovány a porovnávali je s referenčními plochami (blízké okolí, jemnozrnější substrát). Autoři pozorovali signifikantně nižší pokryvnost cévnatých rostlin na výsypkách (17 %) než v okolí (59 %) a pokryvnost lišejníky (12 a 28 %). Statisticky nevýznamný rozdíl byl v případě mechorostů (27 a 31 %). Druhová bohatost takřka kopírovala trend pokryvnosti, kdy pro cévnaté rostliny představovala průměrně 5,4 druhů na jednotku měřené plochy (0,5 x 0,5 m) v případě výsypky a 8,9 v případě okolí, pro lišejníky (5,3 a 6,5) a pro mechorosty (6,9 a 7,7). Důležitým poznatkem obecně řídké pokryvnost výše zmiňovaného substrátu indikuje skutečnost, že na raně sukcesních stanovištích v nepříznivých podmínkách nejsou konkurenční interakce důležité (Chapin et al., 1994).

Stejně tak byl pozorován signifikantní rozdíl pokryvnosti cévnatými rostlinami a mechorosty na starších výsypkách než mladších (nespecifikováno věkem). Jako důvod uvádí pravděpodobně vyvíjející se praktiky v průběhu 20. stol. pro ukládání materiálu tak, aby zlepšovaly uchycení vegetace (Rydgren et al., 2013). Autoři přesto uvádí za hlavní důvody pro rozdílné druhové složení na výsypkách a přilehlém okolí rozdílnou zrnitost substrátu, která na výsypkách vzniká díky stavebním aktivitám. Ke stejným výsledkům dospěli i Martínez-Ruiz et al. (2001).

Hrubozrnné substráty mají tedy samy o sobě nepříznivé podmínky pro vzklíčení semen, řada studií (Rydgren et al., 2013; Hagen et al., 2014) doporučuje přidávání půdy s vysokým obsahem organické hmoty do substrátů vykazující větší zrnitost. Naopak většího prospěchu nevykazuje přidávání jakéhokoliv druhu minerálních hnojiv do hrubozrnných substrátů s řídkou porostlou vegetací, protože dochází k průsaku a úniku látek skrz substrát (Odland a Skjerdal, 1998; Rydgren et al., 2013). Příměs půdy s obsahem organiky má význam i na skalnatých svazích, kde je dokonce klíčovým faktorem pro uchycení vegetace v těchto raně sukcesních stádiích. Udržení půdy na těchto stanovištích je složité, primárně díky působení deště a následné vodní erozi (Wang et al., 2009).

1.4.2 Vliv hydrologických procesů v substrátu na uchycení rostlin

Nedostatek obsahu vody v půdě je zásadně limitujícím faktorem pro uchycení vegetace, zvláště pokud se jedná o hrubozrnné substráty, které snižují retenční kapacitu půd (Chambers, 1995; Kutiel et al., 2016). Jemnozrnné substráty mají totiž na rozdíl od hrubozrnných hustší síť kapilárních pórů vyplněnou vodou a jsou schopny dostatečně zásobit kořeny rostlin vodou. Čím hrubší substrát je, tím méně dokáže tuto vodu kapilárními silami udržet a vlivem gravitace je odvedena pryč (Brady a Weil, 2008).

Tato práce se zabývá vztahem uchycení vegetace na substrátu, a tudíž předmětem diskuze bude téma dostupnosti vody pro rostliny. Tou se rozumí ta část vody, která může být absorbována kořeny rostlin a je definována jako objem vody ležící mezi polní vodní kapacitou (PVK) a bodem vadnutí (BV) (Plaster, 2014). Hodnoty těchto půdních hydrolimitů charakterizuje vodní potenciál, tedy energie, kterou půda poutá vodu. Pro hodnoty -15 bar se jedná o bod vadnutí a polní vodní kapacita je definována hodnotou -0,33 bar (Brady a Weil, 2008). Publikace autorů udává, že množství vody dostupné pro rostliny je závislé na mnoha faktorech, např. na zrnitosti substrátu, zhuštění substrátu a schopnosti růstu kořenů rostlin. Obecně lze říci, že dostupnost vody klesá se zrnitostí substrátu v případě, že se zabýváme půdními druhy (jíl > prach > písek). Pro homogenní substráty charakteristické větší zrnitostí přesahující průměr písečného zrna (2 mm) neexistují studie, které by se zabývaly dostupností vody pro rostliny. Jedinou

výjimkou jsou práce týkající se studia vodní retence pro půdy s vysokým obsahem fragmentů kamene (př. Brouwer a Anderson, 2000; Novák a Šurda, 2010).

Fragmenty kamenů v půdě mohou za určitých okolností zadržovat vodu a chovat se jako zdroj zadržované vody (Novák a Šurda, 2010). Původ těchto fragmentů však dokáže značně ovlivnit tyto schopnosti. Poesen a Lavee (1994) zjistili, že fragmenty vápence mají nejvyšší retenční schopnost (91,7 %, hmotnostní vlhkost při saturaci), zatímco právě čedičové fragmenty mají tuto schopnost takřka nulovou (0,4 %). Obecně však lze říci, že fragmenty snižují celkovou retenční kapacitu substrátu a čím jsou větší, tím více. Novák a Šurda (2010) studovali maximální vodní retenční kapacitu u žulových fragmentů kamene v půdách Vysokých Tater a zjistili její překvapivě vysokou hodnotu (objemová hmotnost 0,02 až 0,16 %). Pro experiment byla vybrána zrna o průměru cca 50 mm s objemem mezi 16 až 45 cm³. Autoři došli k závěru, že dostupnost vody pro rostliny v půdách s obsahem hrubozrnné příměsi může pomoci přežít stromům období sucha. Obsah vody ve fragmentech může přispět do objemu dostupné vody hodnotami 0,5 až 7 % (objemové jednotky).

Pokud fungují fragmenty kamene jako příměs v nějakém substrátu, pak je jejich vliv na hydrologické procesy rozdílný v důsledku toho, jestli zrno leží na povrchu substrátu nebo pod povrchem (Poesen a Lavee, 1994). Autoři zdokumentovali, že zrna ležící na povrchu ovlivňují vsak dešťových kapek do půdy, kdy velká část z nich zůstává zachycena na povrchu a dojde buď k následnému odparu anebo voda zůstává na povrchu a v závislosti na složení zrna může být vsáknuta do materiálu (v případě čediče, jak už bylo řečeno, k této situaci takřka nedochází). Taktéž větší zrna (obvykle >100 mm) hůře pohlcují vlhkost. Článek také komentuje efekty fragmentů umístěných pod povrchem substrátu, kdy na jednu stranu zpomalují infiltraci vody půdním profilem, na druhou stranu omezují vodní erozi způsobenou dopadajícími dešťovými kapkami na povrch. To, jestli se bude celková infiltrace vody do substrátu zvyšovat vlivem příměsi hrubozrnných částic či nikoliv, závisí na faktorech, jako je pozice zrn, jejich velikost, složení a taktéž struktura základu substrátu. Zhou et al. (2009) definovali za prahovou hodnotu pozitivního vlivu fragmentů kamene na infiltraci vody do půdy 40 % (hmotnostní jednotky) hrubozrnné frakce v půdě. Hrubozrnná frakce je specifikována průměrem 10 – 30 mm.

Za jistých podmínek mohou fragmenty fungovat i jako mulč, kdy jsou cíleně umísťovány na povrch substrátu ve snaze zabránit vodní erozi, snížit teplotu půdy a podpořit tvorbu organické hmoty (Cerdá, 2001; Jiménez et al., 2016). Zhang et al. (2016) ve svém shrnutí hodnotí úspěchy

této metody v rámci zlepšení hydrologických procesů v substrátu za obecně nekonzistentní s nejednoznačnými výsledky a významně závislé na půdních a klimatických podmínkách.

Obecně lze říci, že schopnost zadržovat vodu se vzrůstající zrnitostí klesá. V případě směsí však nelze tuto skutečnost jednoznačně potvrdit, ačkoliv pochopitelně s rostoucí hrubozrnností frakcí a jejich obsahem v půdě taktéž klesá dostupnost vody pro rostliny. Bylo však zjištěno, že jistý obsah (cca do 40 % objemu) hrubozrnných částic v půdě/jemnějším substrátu může mít na dostupnost vody pro rostliny pozitivní vliv.

2. Metodika

2.1 Materiál

2.1.1 Lokalita a výběr druhů

Těžba čediče se v České republice soustřeďuje do oblastí podhůří v severních Čechách, tedy do oblastí s vyšší průměrnou roční teplotou (6,1 – 9,0 °C) a malým až středním ročním úhrnem srážek (460 – 820 mm) (Novák a Prach, 2003). Autoři studie potvrdili, že spontánní sukcese v čedičových lomech dominují stepní druhy rostlin s převahou rodu *Festuca*, *Quercus* a *Fagus*. K odběru kameniva byl použit lom Smrčí (Záhoří 58, 513 01 Záhoří, 50°37'28.6"N 15°16'26.4"E), který je spravován společností CEMEX Czech Republic, s.r.o. Lom Smrčí reprezentuje typický čedičový kamenolom v České republice. Dalším důvodem k výběru tohoto lomu byl zájem společnosti CEMEX o provedené experimenty, který usnadnil získání potřebného materiálu. Kamenivo bylo získáno se souhlasem vedoucího lomu. Zároveň na tomto lomu probíhal předchozí výzkum sukcese (Petrů, 2014). K experimentu byly proto vybrány následující čtyři druhy bylin, které byly prokázány jako převládající na skalních trávnících v čedičových lomech: smělek štíhlý (*Koeleria macrantha*), vrbovka úzkolistá (*Epilobium angustifolium*), pelyněk ladní pravý (*Artemisia campestris* var. *campestris*) a lipnice hajní (*Poa nemoralis*). Výběr druhů se řídil dvěma hlavními kritérii. Byly vybrány druhy, které byly na základě předchozí bakalářské práce dominantní v předmětném kamenolomu (Petrů, 2014) a jsou i jinými autory zmiňovány z iniciálních sukcesních stádií v čedičových lomech (Novák a Prach, 2003). Za druhé byly vybrány druhy, jejichž osivo je komerčně dostupné. Osivo bylo zakoupeno ve firmě Planta naturalis (Markvanice 111, 507 42 Markvanice u Sobotky; <http://plantanaturalis.com/>).

2.1.2 Substrát

Kamenivo bylo získáno se souhlasem vedoucího lomu Smrčí (Záhoří 58, 513 01 Záhoří, 50°37'28.6"N 15°16'26.4"E), který je spravován společností CEMEX Czech Republic, s.r.o. V lomu je těžen čedič, který je následně drcen do frakcí: 0-4, 4-8, 8-16, 11-22, 16-32, 32-63, 0-32, 0-63, 0-8 MN (mimo normu) a 8-11 mm. Čísla určují rozmezí velikostí frakcí v mm, např. frakce 4-8 je směs zrn o velikosti 4 až 8 mm. Kamenivo je určeno pro stavební účely, komunikace a asfaltové směsi (Cemex, 2017a). Pro účely tohoto projektu byly vybrány frakce nejčastěji využívané ve stavebnictví, tedy směsi 0-4, 4-8, 8-16, 11-22 a 32-63 mm. Dále jakožto pozůstatek po výzkumné činnosti v rámci bakalářské práce v letech 2013/2014 zbyla frakce 2-4 a 0-4 mm s větším procentuálním podílem jemnějšího zrna (značeno jako 0-4j mm). Ačkoliv nejsou tyto frakce prodávány jako oficiální výrobek společnosti, pro účely projektu byly taktéž využity.

2.2. Popis experimentu

Experiment probíhal v laboratorních podmínkách. Plastové květináče (7x7x6,5cm) byly naplněny kamenivem o objemu 273 cm³ na květináč, což odpovídá naplnění do 1 cm pod okraj květináče. Kromě studia uchycení vegetace na jednotlivých sedmi frakcích (tab. 1) bylo ještě namícháno osm směsí různých poměrů a různých druhů frakcí (tab. 2). V tabulkách je znázorněno označení (ID), které je následně použito v celé práci. Poměry byly zvoleny ve dvou variantách, 90:10 a 50:50 a jsou míněny jako objemové. V poměru 90:10 byla jako 10% příměs vždy použita jemnější frakce, neboť se hledal nejmenší možný objem jemnozrnného substrátu v přídatku do hrubozrnného, který ještě umožní vzklíčení semen. Ze stejného důvodu tedy byly míchány směsi různých hrubozrnných frakcí (11-22, 8-16 a 4-8 mm) s tou nejjemnější (0-4 a 0-4j mm).

Tab. 1 Jednotlivých sedm frakcí a jejich označení (ID) používané v práci

Frakce (mm)	0-4j	0-4	2-4	4-8	8-16	11-22	32-63
ID	0-4j	0-4	2-4	4-8	8-16	11-22	32-63

Tab. 2 Osm druhů směsí a jejich označení (ID) používané v práci

Směsi frakcí (v poměru) mm	4-8 : 0-4	11-22 : 0-4	4-8 : 0-4j	8-16 : 0-4j	11-22 : 0-4j	4-8 : 0-4j	8-16 : 0-4j	11-22 : 0-4j
Objemový poměr směsí	90:10	90:10	90:10	90:10	90:10	50:50	50:50	50:50
ID	4-8 (10)	11-22 (10)	4-8 (10j)	8-16 (10j)	11-22 (10j)	4-8 (50j)	8-16 (50j)	11-22 (50j)

2.2.1 Osetí a údržba

Všech sedm druhů jednotlivých frakcí a osm druhů směsí bylo jednotlivě oseto čtyřmi druhy bylin po pěti opakování. Celkově bylo tedy oseto 300 květináčů (obr. 1), které byly udržovány ve skleníku Botanického ústavu AV ČR v Průhonících za průměrné denní teploty 20-35°C a noční neklesající pod 15°C. Květináče byly přisvětlovány o intenzitě 6000 luxů po dobu 12 hodin denně (7-19hod).



Obr. 1 Experimentální pokus ve skleníku Botanického ústavu AV ČR

Z osiva bylo ručně vybráno do každého květináče po 15 středně velkých a neporušených semen jednotlivého bylinného druhu a následně byla semena pomocí pinzety rovnoměrně rozprostřena do příslušného květináče tak, aby volně ležela na povrchu substrátu. U nejvíce hrubozrnné frakce bylo nutno dbát na nepropadnutí semen skrz květináč až na jeho dno. Květináče byly umístěny po 35 kusech do fotomisek a byla zvolena zálivka tak, aby voda ve

fotomiskách byla stále přítomna do maximální výšky 0,5 cm. 3x týdně byl substrát důkladně orosen rozprašovačem i svrchu. Pokus probíhal během měsíců prosinec, leden a únor na přelomu roku 2016/2017, po dobu 3 měsíců (11 týdnů). Na obr. 2 a 3 lze na příkladu druhu pelyňku pozorovat růst jedinců ve 3. a finálním 11. týdnu pozorování.



Obr. 2 Jednotlivé frakce (sloupce, zleva 32-63 až 0-4j mm) po 5 opakováních pro pelyněk ve 3. týdnu



Obr. 3 Jednotlivé frakce (sloupce, zleva 32-63 až 0-4j mm) po 5 opakováních pro pelyněk v 11. týdnu

2.2 Analýzy

2.2.1 Sčítání jedinců

Každý týden od zasetí (11x) bylo prováděno sčítání klíčících semen. Za klíčící semena byla považována ta semena, ze kterých vyrašil semenáček. Protože však některá semena vypučila a následně vlivem např. uschnutí nebo nedostatku živin zaschla, byl jako klíčový znak životaschopnosti považována schopnost fotosyntetizovat, tzn. alespoň jeden list zelený (posuzováno vizuálně). Zaschlé semenáčky byly proto posléze ze sčítání opět vyřazeny.

2.2.2 Nadzemní a podzemní biomasa

Po uplynutí plánované doby pokusu (11 týdnů) byla pro každý květináč stanovena hmotnost sušiny nadzemní a podzemní rostlinné biomasy. Nadzemní biomasa byla šetrně ostříhána a kvantitativně převedena do papírových pytlíků, které se usušily v sušárně za konstantní teploty 64°C po dobu 48 hod. Podzemní biomasu bylo nutno pomocí pinzety a tekoucí vody opatrně oddělit od substrátu a následně taktéž za stejných podmínek umístit v papírových pytlících do sušárny. Hmotnost biomasy se měřila na 4 desetinná místa. Hodnoty jsou vztaženy k jednotce celého jednoho květináče, nikoliv jedince.

2.2.3 Specifická plocha listu (SLA)

Specifická plocha listu je poměr mezi plochou listu a hmotností jeho sušiny v cm^2/g . Plochou listu rostliny se rozumí celková plocha všech jednotlivých listových čepelí ofocených z jedné strany. Ta byla změřena podle metody autorů Chaudhary et al. (2012), kdy byl pomocí skeneru (Canon CanoScan LiDE 600F) vytvořen snímek s rozlišením 300 DPI ve formátu JPEG. Soubor byl posléze otevřen v programu Fiji (*Fiji Is Just ImageJ*), který je schopen rozdělit RGB

spektrum na jednotlivé kanály. Pro potřeby tohoto experimentu byl vybrán zelený kanál (G) s prahovými hodnotami 20 a 190 a aplikován na všechny snímky. Konvertováním vybraného spektra zelené barvy na černou lze pak jednoduše spočítat podle měřítka plochu jednotlivých listů. Hodnoty plochy jsou vztaženy k jednotce celého jednoho květináče. Pro stanovení SLA je pak plocha dělena hmotností sušiny nadzemní biomasy.

2.2.4 Hydrolimity

Pro odhad objemu dostupné vody (ODV) pro rostliny byl stanoven rozdíl mezi polní vodní kapacitou (PVK) a bodem vadnutí (BV). PVK a BV jsou hydrolimity, které definují určitý objem vody v konkrétním substrátu při daném sacím tlaku. PVK odpovídá množství vody, které je substrát schopen dlouhodobě udržet pomocí převážně kapilárních sil, BV pak odpovídá množství vody v substrátu, která je vázána tak pevně, že ji rostliny nejsou schopny využít. Stanovení těchto hydrolimitů bylo provedeno v laboratorních podmínkách a pro jejich zjištění byl použit přetlakový přístroj 1500F 15 Bar Pressure Plate Extractor (průměr 30cm). Půdní vzorky frakcí 8-16, 4-8, 2-4, 0-4 a 0-4j a směsí frakcí 4-8(10j), 8-16(10j), 4-8(50j) a 8-16(50j) byly umístěny do Kopeckého válečků ($100\text{ cm}^3 \pm 1\text{ cm}^3$) po třech opakováních. Pro ostatní frakce nebylo možno z technických důvodů využít této metody. Na Kopeckého válečky byla z jedné strany pomocí gumičky umístěna síťovina s otvory propustnými pro vodu, nikoliv však pro substrát. Všechny 27 Kopeckého válečků bylo maximálně nasyceno vodou za pokojových podmínek po dobu 10 dnů, zváženo a pak umístěno do přetlakového přístroje. Za konstantního tlaku -0,33 bar, který odpovídá polní vodní kapacitě, byly vzorky po dalších 10 dnech z přístroje vyndány a změřena jejich hmotnost. Ponecháním vzorků v konstantního tlaku -15 bar po více než měsíc (41 dnů) dostaneme bod vadnutí. Všechny vzorky byly pak ponechány na 48 hod v sušárně (105°C) a zvážena jejich sušina. Pro potřeby tohoto experimentu byly tedy využity také rozdíly hodnot mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí, který byl považován za objem vody dostupné pro rostliny (ODV). Měření probíhalo v laboratorních prostorách ČVUT Stavební fakulty (Dejvice, Praha).

2.2.5 Zpracování dat

Výsledky z analýz byly testovány využitím analýzy rozptylu (ANOVA) jednoduchého třídění. Pro všechny analýzy bylo využito hladiny spolehlivosti 95 % ($\alpha = 0,05$) a v případě signifikantního rozdílu bylo pro další oddělení průměrů využito Fisher's post hoc testu. Výsledky jsou uváděny ve tvaru průměr \pm střední chyba průměru (SE).

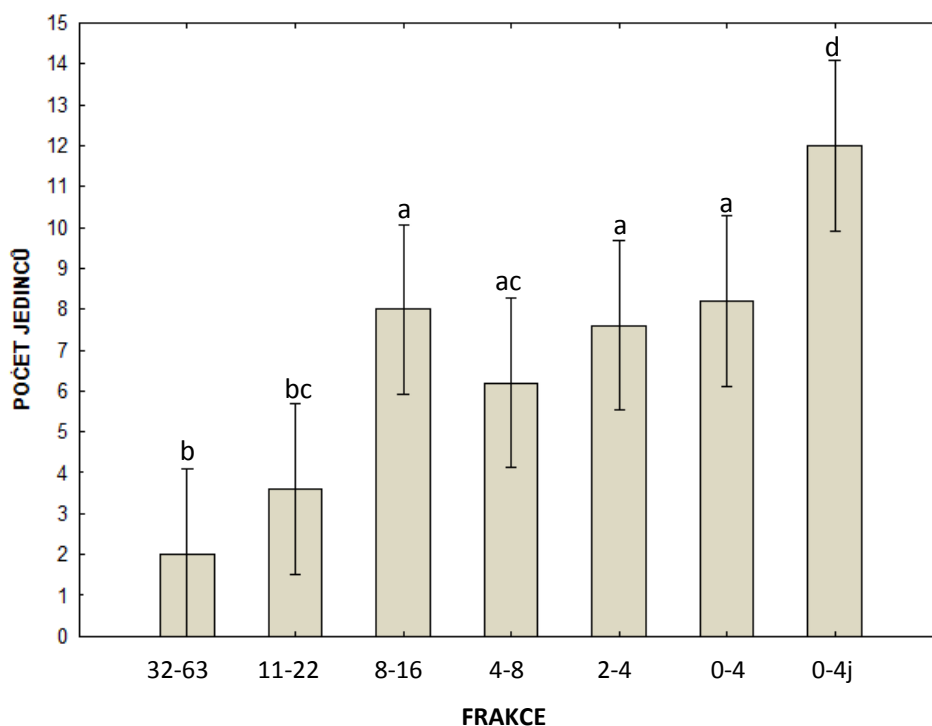
Pro zpracování dat bylo využito programu STATISTICA 13.2 (StatSoft, Inc. 2016).

3. Výsledky

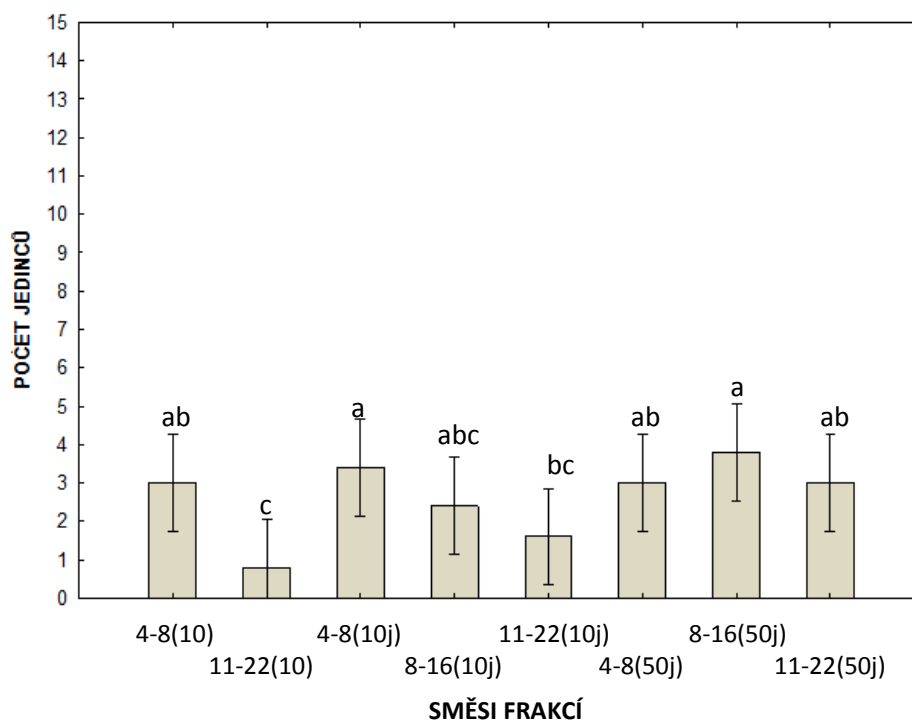
Souhrnné výsledky jsou zobrazeny v tab. 3 a 4 na konci kapitoly Výsledky, kde jsou znázorněny signifikantní rozdíly pro frakce, tedy jak pro jednotlivé frakce, tak pro směsi. Tab. 5, 6 a 7 taktéž v závěru kapitoly zobrazují konkrétní statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými frakcemi v rámci frakcí a směsí pro každou analýzu.

3.1 Sčítání jedinců

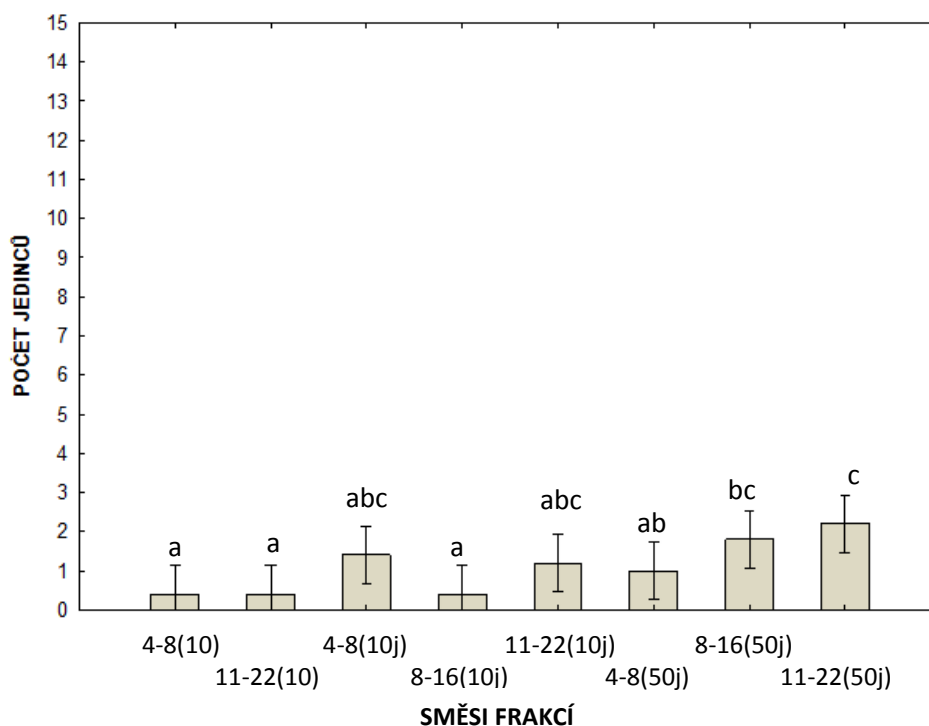
Konečný počet jedinců (po 11 týdnech) narůstal se zmenšující se velikostí zrn jednotlivých frakcí, nelze však významně statisticky prokázat plynulý růst napříč frakcemi vyjma pelyňku (obr. 4). Pro směsi frakcí nelze taktéž prokázat rozdíl mezi počtem jedinců na frakcích s poměrem 50:50 a 90:10, stejně tak jako rozdíl mezi směsí s přídavkem 0-4 a 0-4j do základu 4-8 a 11-22 v poměru 90:10 napříč všemi rostlinnými druhy. V případě směleku lze pouze pozorovat signifikantně významný nárůst počtu jedinců na škále základu 11-22, 8-16 a 4-8 s příměsí 0-4j v poměru 90:10 a to průkazně mezi směsí 11-22(10j) a 4-8(10j) s hodnotami $1,60 \pm 0,62$ a $3,40 \pm 0,62$ (obr. 5). Frakce 11-22, do které byla přidávána příměs 0-4j v poměru 90:10 (10% příměs) a 50:50, vykazovala v porovnání s jemnozrnějšími frakcemi 8-16 a 4-8 skokový nárůst ze samostatného substrátu 11-22 na 11-22(10j) pouze u pelyňku, z 11-22(10j) na 11-22(50j) však jak u vrbovky, tak u lipnice. Významně rozdílný počet jedinců byl pozorován i u pelyňku (frakce 4-8 s příměsí) a vrbovky (frakce 8-16 s příměsí) mezi samotným základem (4-8 a 8-16) a směsí 4-8(50j) a 8-16(50j) (obr. 6).



Obr. 4 ANOVA průměry (SE, n=5), ukazující statistický rozdíl ($p < 0,001$) pro finální počet jedinců u frakcí v případě pelyňku, statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny



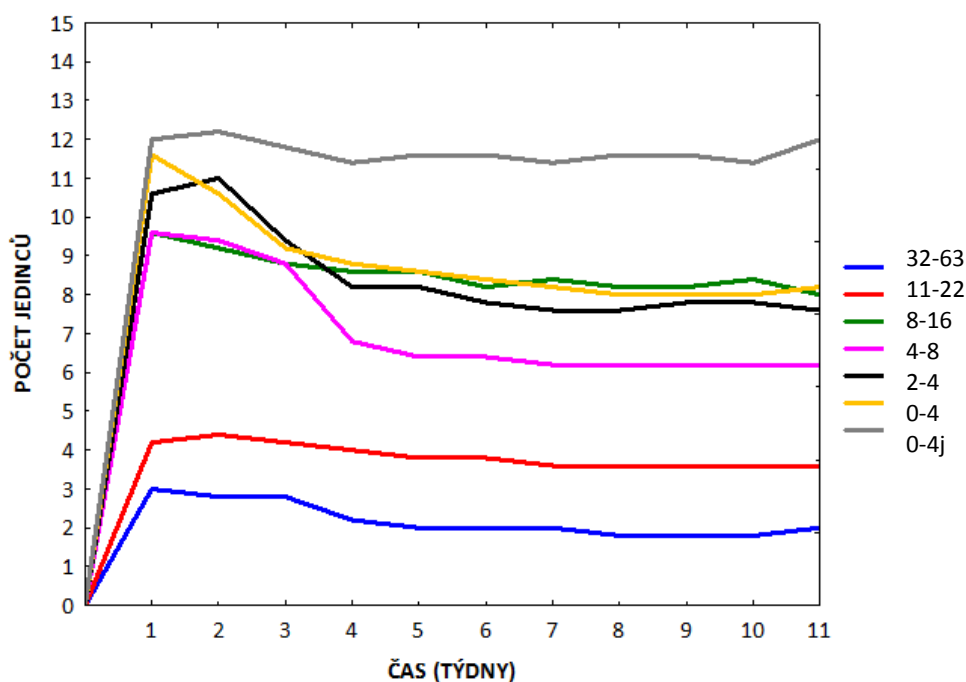
Obr. 5 ANOVA průměry (SE, n=5), ukazující statistický rozdíl ($p = 0,033$) pro finální počet jedinců u směsí frakcí v případě smělku, statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny



Obr. 6 ANOVA průměry (SE, n=5), ukazující statistický rozdíl ($p=0,006$) pro finální počet jedinců u směsí frakcí v případě vrbovky, statisticky homogenní skupiny ($p<0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

Proměna počtu jedinců v čase vykazuje několik trendů. Pro všechny jednotlivé druhy rostlin lze charakterizovat frakce 32-63 a 11-22 jako za nejméně úspěšné pro uchycení vegetace. Obecně vykazovaly nejnižší nárůst počtu jedinců v porovnání s ostatními frakcemi po prvních 2 týdnech pozorování. Po tomto časovém období byla jejich fluktuace počtu jedinců v rámci dalšího sledování málo významná a to až do konce pozorování (11. týden).

Frakce 8-16, 4-8, 2-4 a 0-4 u pelyňku (obr. 7) a vrbovky naopak v prvních dvou týdnech vykazovaly mnohem významnější nárůst jedinců, který překvapivě napříč výše popsány frakcemi v dalších dvou týdnech mírně poklesl (4. týden) a následně se v dalších týdnech ustálil. S výjimkou frakce 4-8, která vykazovala mírně nižší hodnotu, byly ostatní frakce, co se týče celkového počtu jedinců skoro totožné (překvapivě hlavně hrubostí velmi rozdílné frakce 8-16 a 0-4). Dle očekávání také nejjemnější frakce 0-4j u pelyňku a vrbovky vedla s nejvyššími hodnotami a oproti ostatním frakcím zvítězila jak nárůstem počtu jedinců v prvních dvou týdnech, tak také v průběhu času pozorování.

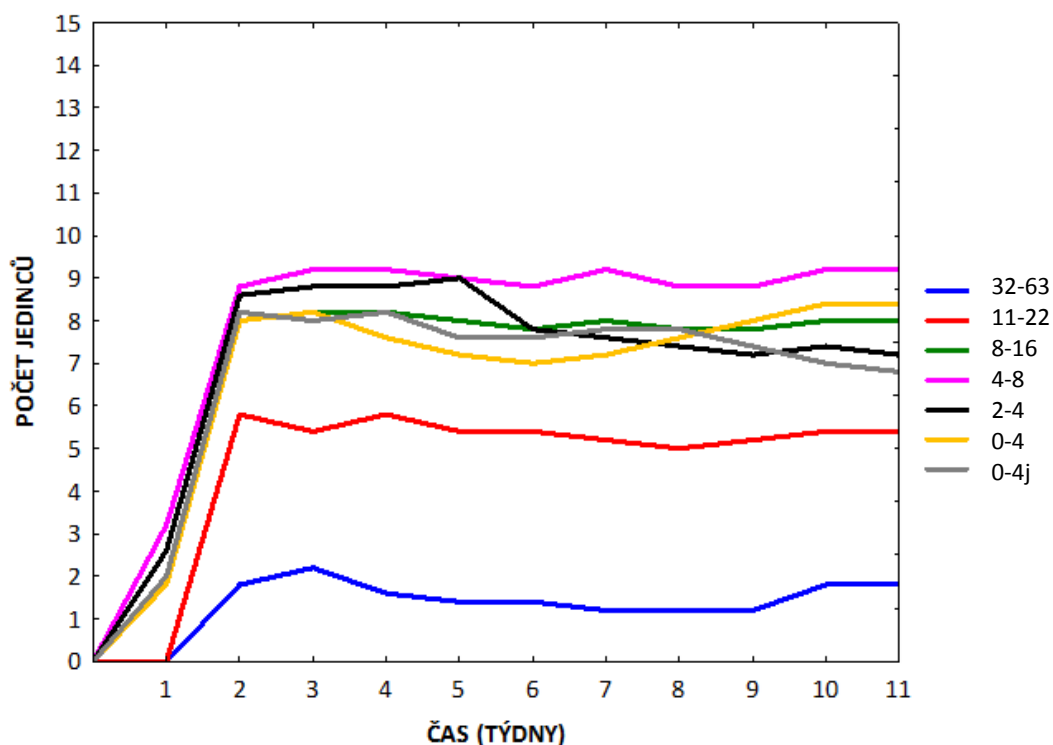


Obr. 7 Proměna vzklíčených počtu jedinců v čase pro jednotlivé frakce (n=5) u pelyňku

Trochu opačný trend lze pozorovat naopak u smělku a lipnice (obr. 8). Tam si poměrně významně vyměnily role frakce 4-8 a 0-4j, kdy u obou druhů vévodila s nárůstem a celkovým počtem jedinců v čase frakce 4-8. Naopak nejjemnější frakce 0-4j splynula s vývojem počtu jedinců u frakcí 8-16, 2-4 a i 0-4 u lipnice v celém čase pozorování. Pouze frakce 0-4 u smělku držela stejný trend jako frakce 4-8, tedy s maximálním množstvím jedinců v čase.

Při porovnání mezi druhy u jednotlivých frakcí (32-63 až 0-4j) lze pozorovat velmi podobný vývoj, který narušuje jen zajímavá proměnlivost frakce 4-8, která neočekávaně dominuje u smělku a lipnice jako nejvýhodnější substrát pro uchycení vegetace, zatímco u pelyňku a vrbovky tuto skutečnost vykazuje dle očekávání nejjemnější frakce 0-4j.

U směsí lze pozorovat obecně lepší uchycení vegetace na frakcích s poměrem 50:50 než na poměru 90:10, nikoliv však významně. U směsí s 10% přídávkem frakce 0-4j (4-8(10j) a 1-22(10j)) nelze generálně pozorovat vyšší počet jedinců než na směsích s 10% přídávkem frakce 0-4 (4-8(10) a 11-22(10)). Pro škálu směsí 11-22(10j) 8-16(10j) 4-8(10j) taktéž nelze pozorovat významně vzestupný počet jedinců v čase napříč druhy.



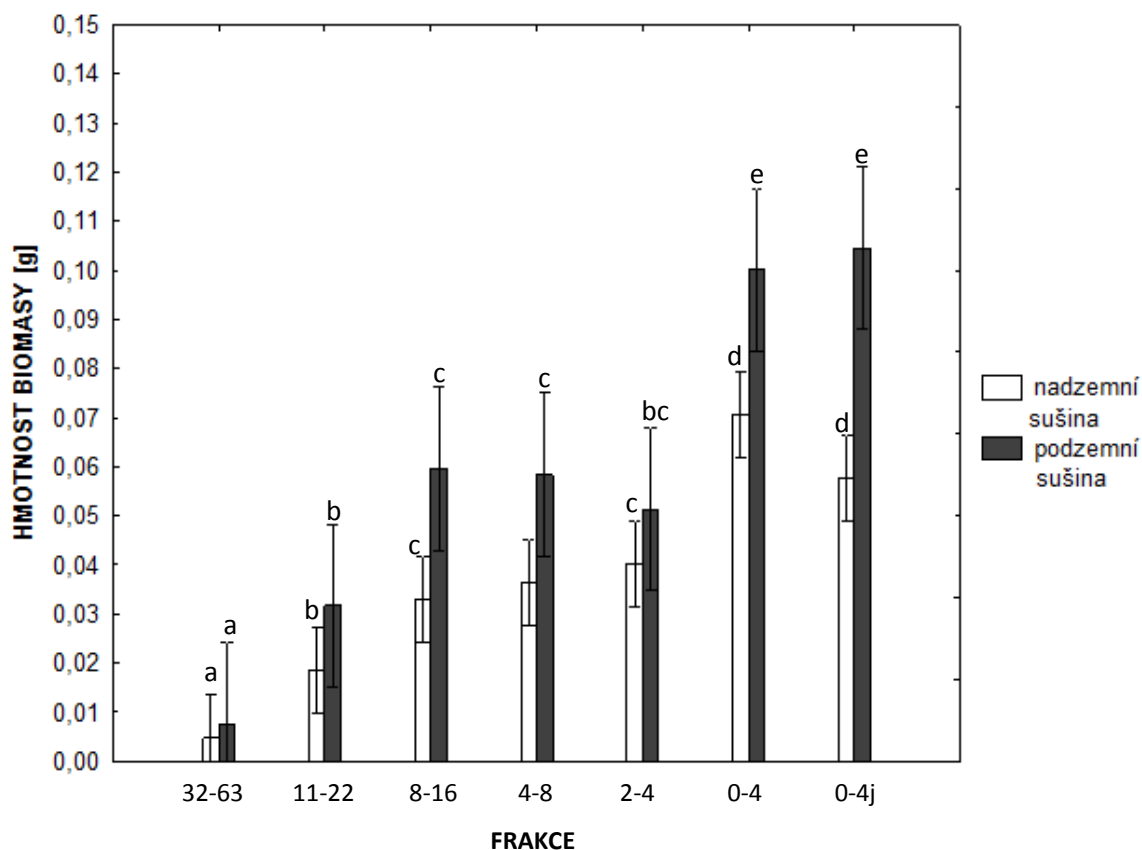
Obr. 8 Proměna počtu jedinců v čase pro jednotlivé frakce (n=5) u lipnice

3.2 Nadzemní a podzemní biomasa

Jednotlivá nadzemní a podzemní sušina se v rámci každého rostlinného druhu pro frakce 32-63 až 0-4j signifikantně liší (vše $p < 0,001$, vyjma podzemní sušiny vrbovky $p = 0,002$ a smělku $p = 0,001$). V případě směsí frakcí nelze pozorovat signifikantní rozdíl u nadzemní biomasy vrbovky ($p = 0,107$) a podzemní biomasy vrbovky ($p = 0,475$) a lipnice ($p = 0,482$). Signifikantně významný rozdíl u ostatních směsí byl naměřen jednotlivě a pro všechny případy shodně hodnotou $p < 0,001$.

Hmotnost suché nadzemní biomasy u pelyňku a lipnice (obr. 9) rovnoměrně rostla od hrubozrnných substrátů k jemnozrnným (frakce 32-63 až 0-4j). Stejný trend lze pozorovat i u druhů vrbovky a smělku, kde je však signifikantní přírůstek zaznamenatelný až u frakce 0-4j pro vrbovku, respektive u frakce 0-4 a 0-4j pro smělek. Je zajímavé, že smělek a lipnice mají u nejjemnější frakce 0-4j signifikantně nižší hmotnost nadzemní sušiny než u druhé nejjemnější, 0-4.

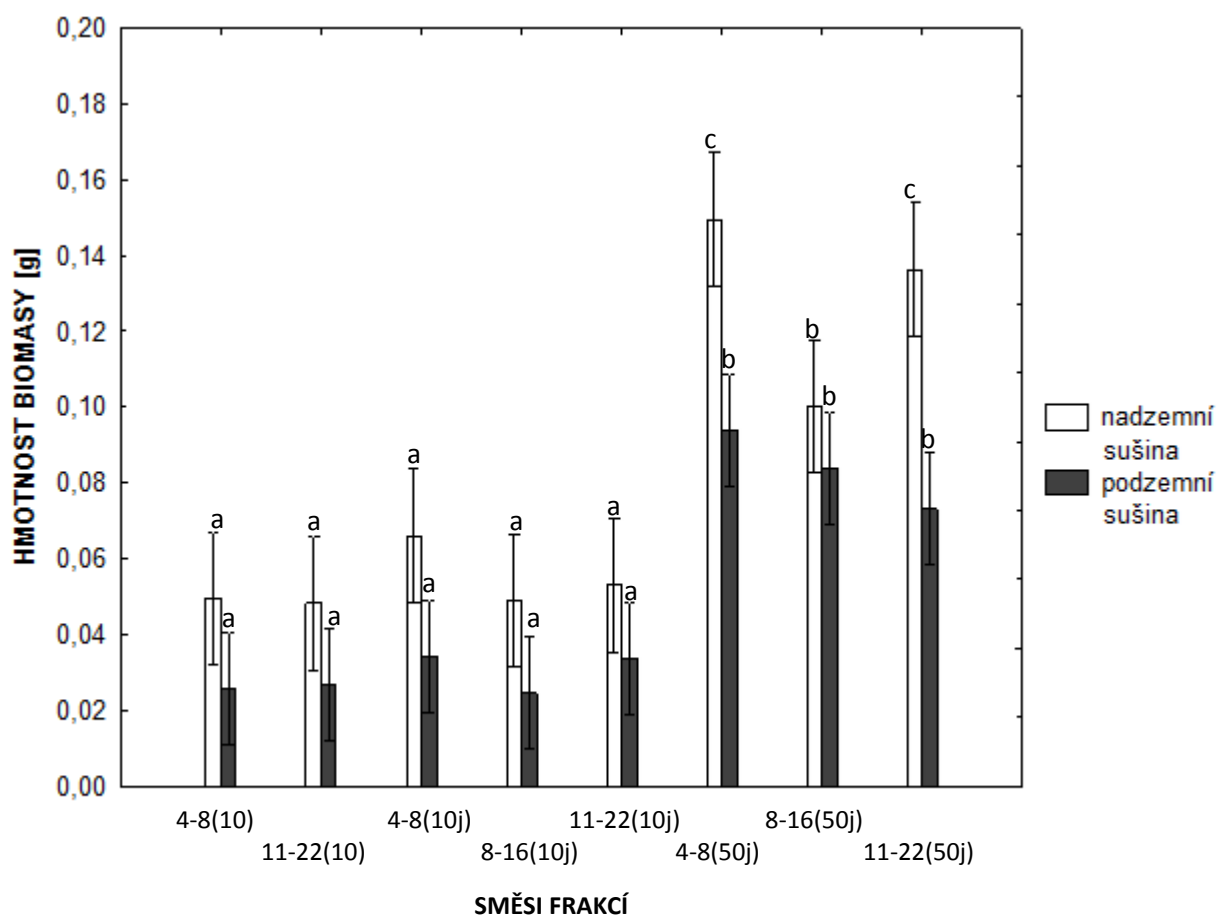
Podobný trend byl pozorován i pro podzemní sušenou biomasu, která však obecně vykazuje nižší hodnoty než biomasa nadzemní. Výjimkou je příklad lipnice, která má signifikantně vyšší hmotnost podzemní biomasy než nadzemní.



Obr. 9 ANOVA průměry (SE, n=5) ukazující statistický rozdíl ($p < 0,001$) pro nadzemní a podzemní sušenou biomasu a jednotlivé frakce v případě lipnice, statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

V případě směsí je pozorován významně vyšší přírůstek biomasy pro frakce s poměrem 50:50 oproti poměru 90:10 pouze u pelyňku a to jak pro podzemní tak nadzemní sušinu (obr. 10). U všech ostatních druhů tento vztah není signifikantní. Přídavek frakce 0-4j do základu se napříč nadzemní i podzemní biomasu pro všechny druhy signifikantně neliší s výjimkou nadzemní biomasy lipnice, kdy je potvrzen signifikantně vyšší hmotnost sušiny pro směs 4-8(50j) než pro 4-8(50) v pořadí $0,0576 \pm 0,0056$ a $0,0787 \pm 0,0056$.

Rostoucí hmotnost biomasy pro frakce 11-22, 8-16 a 4-8 s přidavkem jemné frakce 0-4j v poměru 90:10 byl signifikantně významná pouze u nadzemní biomasy smělku, kdy se lišila sušina frakce 11-22(10j) od 4-8(10j) v pořadí $0,0096 \pm 0,0052$ a $0,0280 \pm 0,0052$ a taktéž lipnice ($0,0242 \pm 0,0056$ a $0,0787 \pm 0,0056$).



Obr. 10 ANOVA průměry (SE, n=5) ukazující statistický rozdíl ($p < 0,001$) pro nadzemní a podzemní sušenou biomasu a jednotlivé frakce v případě pelyňku, statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

U všech druhů lze sledovat skokový dvou až trojnásobný nárůst hmotnosti biomasy (nadzemní i podzemní) od frakcí 32-63 po 2-4 k frakcím 0-4 a 0-4j (př. pelyněk, nadzemní biomasa $0,0588 \pm 0,0045$ pro frakci 2-4 a $0,1170 \pm 0,0045$ pro frakci 0-4 nebo smělek, podzemní biomasa $0,0153 \pm 0,0061$ pro 2-4 a $0,0440 \pm 0,0061$ pro 0-4)

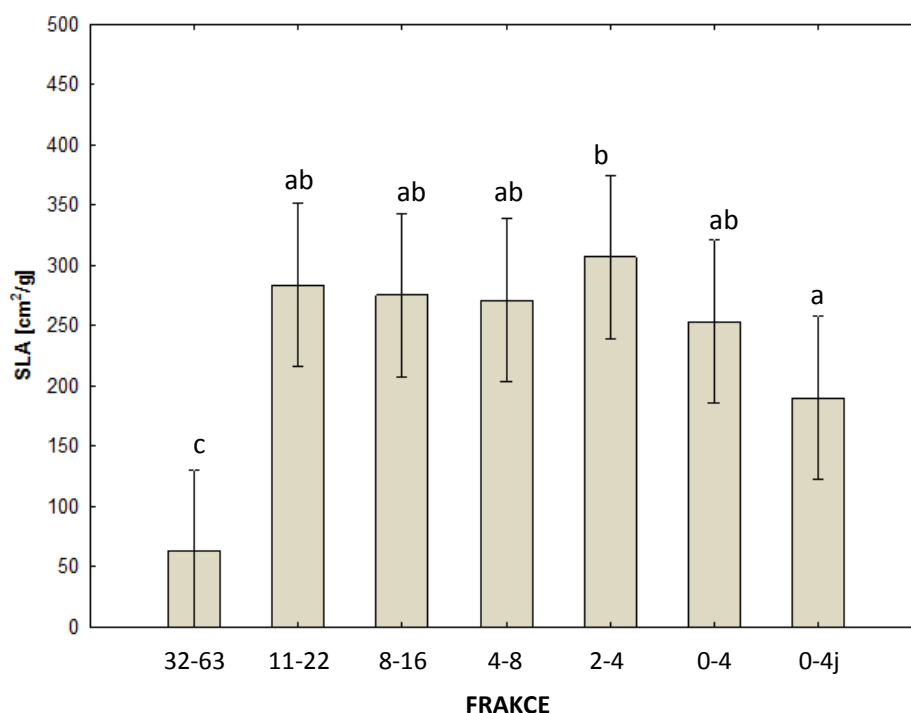
V rámci pozorování směsí 11-22, 8-16 a 4-8 s postupným přidáváním přídatku 0-4j v poměrech 90:10 (10% příměs) a 50:50 lze vypožarovat následující trendy. Vrbovka napříč všemi zkoumanými výše popsanými směsi nevykazuje statisticky průkazný rozdíl nárůstu podzemní či nadzemní biomasy díky přidávání jemnozrnného substrátu (vyjma frakce 8-16., dále popsáno). Pro frakci 11-22 s postupnými přídatky lze statisticky významný rozdíl u podzemní i nadzemní sušiny prokázat u pelyňku a částečně se signifikantním nárůstem pouze při přidání 50 % příměsi také u trav smělku a lipnice. Pro frakci 8-16 s postupnými přídatky je pozorovatelný signifikantní nárůst biomasy (alespoň nadzemní či podzemní) při přidání 50 % jemné frakce 0-4j u všech druhů (pelyněk, smělek, lipnice a také vrbovka). Pro frakci 4-8 s postupnými přídatky lze pozorovat významný nárůst nadzemní biomasy od samostatné frakce 4-8 ke směsi 11-22(50j) u pelyňku i lipnice. Částečný nárůst biomasy (alespoň nadzemní či podzemní) s přidáním 50 % jemné 0-4j je signifikantně viditelný taktéž pro smělek.

3.3 Specifická plocha listu (SLA)

Specifická plocha listu nevykazovala signifikantní rozdíl pro jednotlivé frakce 32-63 až 0-4j (pelyněk $p=0,725$, vrbovka $p=0,847$ a lipnice $p=0,327$) kromě smělku ($p<0,001$) (obr. 11). Tam je statisticky průkazná nižší hodnota u frakce 32-63 a je taktéž pozorován signifikantně významný rozdíl mezi frakcemi 2-4 a 0-4j, přičemž frakce 0-4j vykazuje nižší hodnotu.

U směsí nelze prokazatelně ukázat, že směsi o poměru 50:50 mají signifikantně rozdílné hodnoty od směsí o poměru 90:10. Příměs frakce 0-4j do základu taktéž obecně nevykazuje lepší hodnoty než s příměsí frakce 0-4 s výjimkou pelyňku a frakcí 11-22(10) a 11-22(10j) s hodnotami $255,74 \pm 8,82$ a $229,27 \pm 8,82$ retrospektivně. Prokazatelně významnou změnu hodnoty SLA pro základy směsí 11-22, 8-16 a 4-8 s příměsí 0-4j vykazuje lipnice, kdy hodnota statisticky signifikantně stoupá v tomto pořadí: 4-8, 8-16 a 11-22.

Pro frakce 11-22, 8-16 a 4-8 s přídatky frakce 0-4 v poměru 90:10 (10% příměs) a 50:50 nelze pozorovat statisticky signifikantní změnu pro hodnotu SLA napříč všemi druhy rostlin.

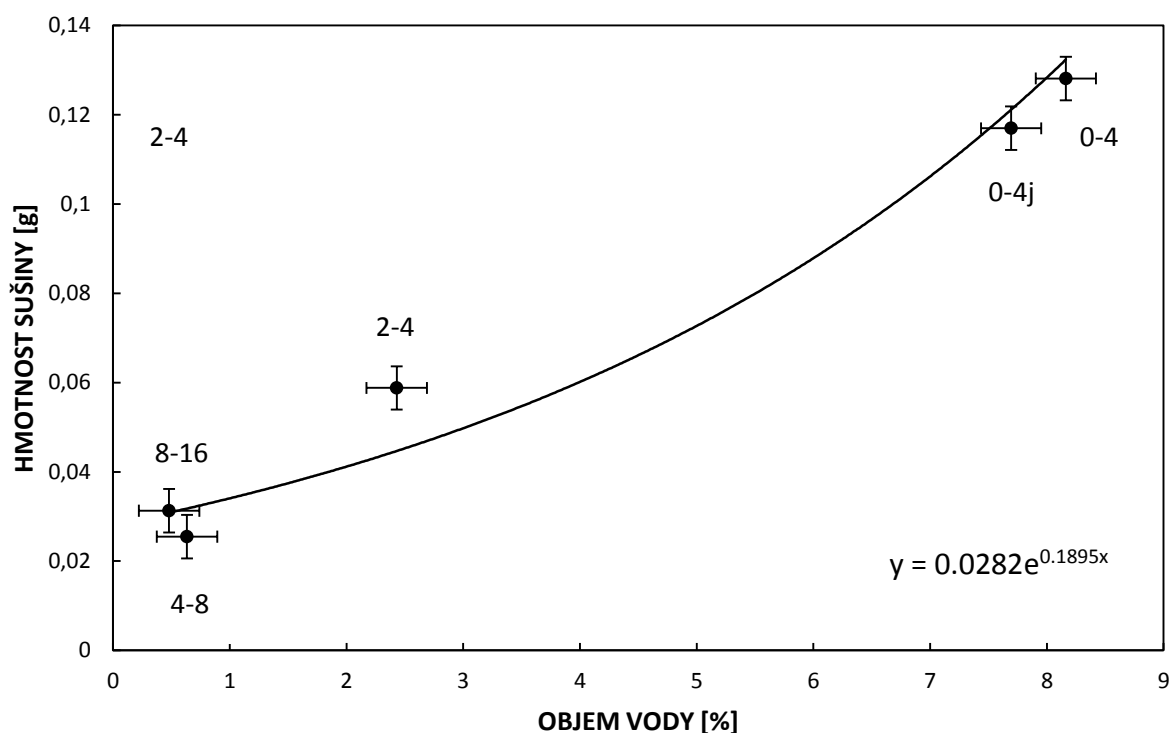


Obr. 11 ANOVA průměry (SE, n=5) ukazující statistický rozdíl ($p < 0,001$) pro specifickou plochu listu a jednotlivé frakce v případě smělků, statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

3.4 Hydrolimity

V rámci hydrolimitů byla uvažována dostupná voda pro rostliny (rozdíl hodnot polní vodní kapacity a bodu vadnutí), měřena u frakcí 8-16, 4-8, 2-4, 0-4 a 0-4j, kde byl pozorován signifikantní nárůst objemu dostupné vody u frakcí od hrubozrnných po jemnozrnější. Je změřen více než trojnásobný rozdíl objemu dostupné vody ze substrátu 2-4 na 0-4.

Pro směsi byl změřen signifikantně vyšší objem dostupné vody pro frakce s přídavkem jemného zrna v poměru 50:50 než 90:10. Taktéž byl pozorován statisticky průkazný nárůst objemu dostupné vody pro substrát 4-8, do kterého byla postupně přidávána příměs 0-4j v poměru 90:10 (10% příměs) a 50:50. Statisticky průkazný rozdíl pro frakci 8-16 lze pozorovat až při 50% přídavku jemného zrna 0-4j.



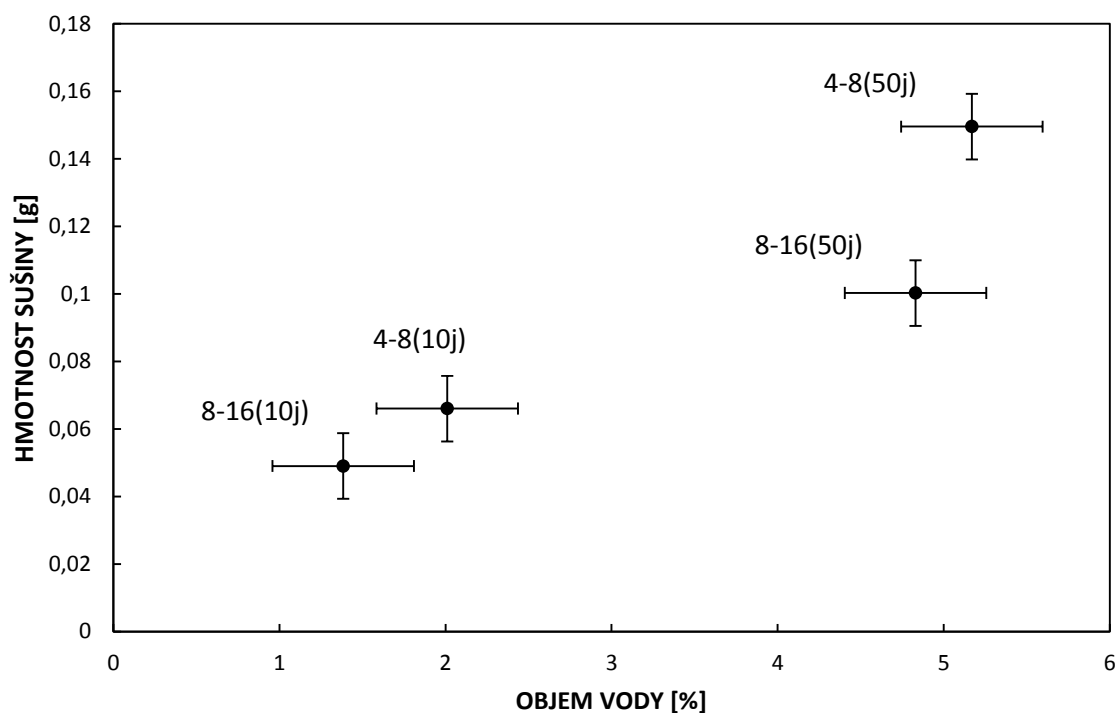
Obr. 12 ANOVA průměry (SE, objem vody n=3, hmotnost sušiny n=5) ukazující růst objemu dostupné vody pro rostliny s hmotností nadzemní sušiny pro pelyněk a frakce 8-16, 4-8, 2-4, 0-4 a 0-4j

Data dostupné vody pro rostliny byla porovnána s hmotností nadzemní sušiny, znázorněno na obr. 12. Vyjma vrbovky, která má signifikantní přírůstek biomasy až u frakce 0-4j a tudíž nelze pozorovat žádný obecný trend v grafu, lze u ostatních druhů (pelyněk, smělek a lipnice) méně či více pozorovat nárůst nadzemní biomasy s dostupným objemem vody v substrátu. Ačkoliv není statisticky významná, je přesto pozorovaná nižší hodnota pro objem dostupné vody pro jemnější substrát 0-4j než hrubozrnější 0-4. Překvapivě právě pro tyto hodnoty je sledován i signifikantně významný rozdíl pro nadzemní sušinu pro trávy smělek a lipnici a tedy nižší hodnotu pro jemnozrnější substrát 0-4j.

Jako prahová hodnota pro dostatečný objem dostupné vody pro rostliny byl podle grafů zvolen 8-9 % objem vody.

Pro směsi je pozorován signifikantní nárůst nadzemní sušiny s větším objemem dostupné vody pro pelyněk (obr. 13) a lipnici, pro smělek jen v rámci směsi frakcí 4-8 a 0-4j. Je zajímavé, že

signifikantní změna u biomasy pro lipnici v rámci této směsi je negativní, tedy došlo k poklesu celkové sušiny na očekávaně vhodnějším substrátu.



Obr. 13 ANOVA průměry (SE, objem vody n=3, hmotnost sušiny n=5) ukazující růst objemu dostupné vody pro rostliny s hmotností nadzemní sušiny pro pelyněk a směsi frakcí 8-16(10j), 4-8(10j), 8-16(50j) a 4-8(50j)

Tab. 3 P-hodnoty souhrnných výsledků ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí

	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice
	finální počet jedinců	finální počet jedinců	finální počet jedinců	finální počet jedinců	nadzemní biomasa	nadzemní biomasa	nadzemní biomasa	nadzemní biomasa
frakce	<0,001	ns (0,156)	0,036	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
směsi	ns (0,175)	0,006	0,033	ns (0,421)	<0,001	ns (0,107)	<0,001	<0,001

Data reprezentují p-hodnoty; ns – statisticky nevýznamné

Tab. 4 P-hodnoty souhrnných výsledků ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí

	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice
	podzemní biomasa	podzemní. biomasa	podzemní. biomasa	podzemní biomasa	SLA	SLA	SLA	SLA
frakce	<0,001	0,002	0,001	<0,001	ns (0,725)	ns (0,847)	<0,001	ns (0,327)
směsi	<0,001	ns (0,475)	<0,001	ns (0,482)	0,017	ns (0,261)	ns (0,881)	0,002

Data reprezentují p-hodnoty; ns – statisticky nevýznamné

Tab. 5 Souhrnné výsledky ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí

	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice
frakce směsi	finální počet jedinců	finální počet jedinců	finální počet jedinců	finální počet jedinců	nadzemní biomasa	nadzemní biomasa	nadzemní biomasa	nadzemní biomasa
32-63	2,00 ± 1,01b	0,60 ± 0,43a	0,60 ± 0,68b	1,80 ± 0,89c	0,0047 ± 0,0045a	0,0012 ± 0,0069a	0,0017 ± 0,0109a	0,0047 ± 0,0043a
11-22	3,60 ± 1,01bc	0,40 ± 0,43a	2,40 ± 0,68ab	5,40 ± 0,89b	0,0119 ± 0,045a	0,0009 ± 0,0069a	0,0106 ± 0,0109a	0,0184 ± 0,0043b
8-16	8,00 ± 1,01a	1,00 ± 0,43ab	3,00 ± 0,68a	8,00 ± 0,89a	0,0313 ± 0,0045b	0,0035 ± 0,0069a	0,0212 ± 0,0109a	0,0329 ± 0,0043c
4-8	6,20 ± 1,01ac	1,20 ± 0,43ab	3,80 ± 0,68a	9,20 ± 0,89a	0,0255 ± 0,0045b	0,0130 ± 0,0069a	0,0233 ± 0,0109a	0,0363 ± 0,0043c
2-4	7,60 ± 1,01a	1,40 ± 0,43ab	2,40 ± 0,68ab	7,20 ± 0,89ab	0,0588 ± 0,0045c	0,0066 ± 0,0069a	0,0271 ± 0,0109a	0,0402 ± 0,0043c
0-4	8,20 ± 1,01a	0,60 ± 0,43a	3,80 ± 0,68a	8,40 ± 0,89a	0,1170 ± 0,0045d	0,0089 ± 0,0069a	0,1032 ± 0,0109c	0,0707 ± 0,0043e
0-4j	12,00 ± 1,01d	2,00 ± 0,43b	2,20 ± 0,68ab	6,80 ± 0,89ab	0,1281 ± 0,0045d	0,0579 ± 0,0069b	0,0636 ± 0,0109b	0,0577 ± 0,0043d
4-8(10)	6,40 ± 0,93b	0,40 ± 0,36a	3,00 ± 0,62ab	7,60 ± 0,88ab	0,0486 ± 0,0086a	0,0059 ± 0,0044abc	0,0297 ± 0,0052a	0,0576 ± 0,0056bc
11-22(10)	7,60 ± 0,93ab	0,40 ± 0,36a	0,80 ± 0,62c	6,60 ± 0,88ab	0,0483 ± 0,0086a	0,0005 ± 0,0044c	0,0018 ± 0,0052b	0,0280 ± 0,0056a
4-8(10j)	7,60 ± 0,93ab	1,40 ± 0,36abc	3,40 ± 0,62a	8,20 ± 0,88ab	0,0661 ± 0,0086a	0,0118 ± 0,0044abc	0,0280 ± 0,0052a	0,0787 ± 0,0056d
8-16(10j)	7,40 ± 0,93ab	0,40 ± 0,36a	2,40 ± 0,62abc	6,40 ± 0,88ab	0,0480 ± 0,0086a	0,0066 ± 0,0044abc	0,0209 ± 0,0052ac	0,0387 ± 0,0056ac
11-22(10j)	8,60 ± 0,93ab	1,20 ± 0,36abc	1,60 ± 0,62bc	5,80 ± 0,88a	0,0531 ± 0,0086a	0,0034 ± 0,0044ac	0,0096 ± 0,0052bc	0,0242 ± 0,0056a
4-8(50j)	9,80 ± 0,93a	1,00 ± 0,36ab	3,00 ± 0,62ab	7,00 ± 0,88ab	0,1363 ± 0,0086b	0,0157 ± 0,0044ab	0,0532 ± 0,0052d	0,0522 ± 0,0056bc
8-16(50j)	8,80 ± 0,93ab	1,80 ± 0,36bc	3,80 ± 0,62a	7,00 ± 0,88ab	0,1003 ± 0,0086c	0,0162 ± 0,0044b	0,0339 ± 0,0052a	0,0586 ± 0,0056b
11-22(50j)	9,60 ± 0,93a	2,20 ± 0,36c	3,00 ± 0,62ab	8,40 ± 0,88b	0,1496 ± 0,0086b	0,0141 ± 0,0044ab	0,0339 ± 0,0052a	0,0840 ± 0,0056d

Data jsou průměry±SE (n=5); statisticky homogenní skupiny (p<0,05, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

Tab. 6 Souhrnné výsledky ANOVY jednoduchého třídění pro jednotlivé druhy a všechna měření u všech frakcí a jejich směsí

	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice	pelyněk	vrbovka	smělek	lipnice
frakce směsi	podzemní biomasa	podzemní biomasa	podzemní biomasa	podzemní biomasa	SLA	SLA	SLA	SLA
32-63	0,0045 ± 0,0037b	0,0007 ± 0,0021a	0,0016 ± 0,0061a	0,0076 ± 0,0081d	349,54 ± 52,61a	569,79 ± 309,50a	62,78 ± 33,06c	1254,716 ± 309,36b
11-22	0,0095 ± 0,0037b	0,0005 ± 0,0021a	0,0117 ± 0,0061ab	0,0317 ± 0,0081b	302,49 ± 52,61a	769,11 ± 309,50a	283,78 ± 33,06ab	513,73 ± 309,36ab
8-16	0,0310 ± 0,0037a	0,0016 ± 0,0021ab	0,0209 ± 0,0061bc	0,0596 ± 0,0081a	260,05 ± 52,61a	166,01 ± 309,50a	275,61 ± 33,06ab	385,55 ± 309,36ab
4-8	0,0269 ± 0,0037a	0,0075 ± 0,0021bc	0,0180 ± 0,0061abc	0,0584 ± 0,0081a	255,22 ± 52,61a	344,62 ± 309,50a	271,00 ± 33,06ab	357,19 ± 309,36a
2-4	0,0321 ± 0,0037a	0,0021 ± 0,0021ab	0,0153 ± 0,0061abc	0,0513 ± 0,0081ab	236,67 ± 52,61a	323,04 ± 309,50a	307,15 ± 33,06b	331,75 ± 309,36a
0-4	0,0817 ± 0,0037c	0,0011 ± 0,0021a	0,0440 ± 0,0061d	0,1001 ± 0,0081c	269,78 ± 52,61a	248,14 ± 309,50a	253,57 ± 33,06ab	319,06 ± 309,36a
0-4j	0,0997 ± 0,0037d	0,0125 ± 0,0021c	0,0309 ± 0,0061cd	0,1046 ± 0,0081c	234,49 ± 52,61a	405,61 ± 309,50a	189,88 ± 33,06a	311,83 ± 309,36a
4-8(10)	0,0259 ± 0,0072a	0,0008 ± 0,0019a	0,0237 ± 0,0019abc	0,0698 ± 0,0357a	241,29 ± 8,82abd	150,66 ± 99,32ab	282,89 ± 41,13a	320,69 ± 12,87a
11-22(10)	0,0267 ± 0,0072a	0,0001 ± 0,0019a	0,0006 ± 0,0062d	0,0393 ± 0,0357a	255,74 ± 8,82d	270,43 ± 99,32ab	274,90 ± 41,13a	379,17 ± 12,87c
4-8(10j)	0,0342 ± 0,0072a	0,0030 ± 0,0019abc	0,0242 ± 0,0019abc	0,1043 ± 0,0357ab	225,04 ± 8,82abc	313,12 ± 99,32ab	268,83 ± 41,13a	312,61 ± 12,87a
8-16(10j)	0,0246 ± 0,0072a	0,0019 ± 0,0019ab	0,0155 ± 0,0019abd	0,0405 ± 0,0357a	244,60 ± 8,82bd	78,94 ± 99,32b	213,92 ± 41,13a	327,40 ± 12,87ab
11-22(10j)	0,0338 ± 0,0072a	0,0015 ± 0,0019a	0,0073 ± 0,0019ad	0,0283 ± 0,0357a	229,27 ± 8,82abc	344,70 ± 99,32ab	215,97 ± 41,13a	358,17 ± 12,87bc
4-8(50j)	0,0939 ± 0,0072b	0,0072 ± 0,0019bc	0,0453 ± 0,0019e	0,1911 ± 0,0357b	234,74 ± 8,82abd	390,14 ± 99,32a	269,63 ± 41,13a	294,35 ± 12,87a
8-16(50j)	0,0840 ± 0,0072b	0,0075 ± 0,0019c	0,0408 ± 0,0019ce	0,0954 ± 0,0357ab	218,63 ± 8,82ac	345,36 ± 99,32ab	238,82 ± 41,13a	322,61 ± 12,87ab
11-22(50j)	0,0731 ± 0,0072b	0,0049 ± 0,0019abc	0,0299 ± 0,0019bce	0,1254 ± 0,0357ab	208,49 ± 8,82c	400,14 ± 99,32a	249,90 ± 41,13a	316,39 ± 12,87a

Data jsou průměry ± SE (n=5); statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

Tab. 7 Souhrnné výsledky ANOVY jednoduchého třídění hydrolimitů substrátu

frakce směsi	hydrolimity
8-16	0,48 ± 0,26a
4-8	0,63 ± 0,26a
2-4	2,43 ± 0,26b
0-4	8,16 ± 0,26c
0-4j	7,69 ± 0,26c
4-8(10j)	2,01 ± 0,43a
8-16(10j)	1,38 ± 0,43a
4-8(50j)	5,17 ± 0,43b
8-16(50j)	4,83 ± 0,43b

Data jsou průměry±SE (n=3); statisticky homogenní skupiny ($p < 0,05$, Fisher's post hoc test) jsou označeny stejnými písmeny

4. Diskuze

Byl prokázán signifikantní pokles úspěšnosti uchycení vegetace a taktéž pokles objemu dostupné vody (rozdíl mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí) pro rostliny se vzrůstajícím stupněm zrnitosti substrátu, tudíž hypotéza 1 byla potvrzena (*Úspěšné uchycení vegetace a dostupnost vody v substrátu klesá se vzrůstajícím stupněm zrnitosti*). Toto zjištění je v souladu s pracemi Chambers (1995), Rydgren et al. (2013) a Hagen et al. (2014), nicméně žádná z těchto dostupných studií zabývajících se uchycením vegetace na hrubozrnných substrátech nestudovala zrna o průměru >8 mm. Díky tomu taktéž nebyly studovány rozdíly mezi větším počtem jednotlivých frakcí, jak tomu je u tohoto experimentu.

Ačkoliv tedy lze generálně pozorovat pokles kvality substrátu pro přežití rostlin se vzrůstající hrubozrnností, postupný pokles v rámci škály frakcí není jednoznačný u součtu finálního počtu jedinců na květináč. Signifikantní nárůst jedinců lze pozorovat pouze u druhů pelyňku a lipnice, i přesto se počet jedinců mezi frakcemi 8-16 a 0-4 mm významně neliší. Poměrně vysoký počet jedinců na hrubých frakcích lze vysvětlit absencí prostorové konkurence (Grubb, 1976), která dovoluje vyrůst i jedincům, kteří by za standardních podmínek neměli možnost. Počet životaschopných jedinců v průběhu času poukazuje, že po prvních 2-3 týdnech v závislosti na rostlinném druhu se jejich počet významně nemění a souhlasí tedy s konečným počtem. Napříč všemi druhy lze pozorovat stejný trend, který byl popsán výše. Proto na rozdíl mezi jednotlivými frakcemi 8-16 až 0-4 mm lépe odpoví analýza hmotnosti nadzemní a podzemní biomasy. Trend obou měření je stejný, proto nadále jen „biomasa“. U biomasy je tedy potvrzen signifikantní nárůst s jemnozrnným substrátem a to i mezi frakcemi 8-16 a 0-4 mm, kdy lze potvrdit větší přírůstek biomasy u jemnozrnějších substrátů navzdory stejnému počtu životaschopných jedinců. Protože v substrátu nebyla v počátku experimentu přítomna žádná organická hmota, lze uvažovat limitaci uchycení hlavně dostupností vody v substrátu, jak tvrdí práce Wang et al. (2009). Taktéž je vhodné se zamyslet nad maximálními hodnotami biomasy u nejjemnějších frakcí. Někteří jedinci, vzklíčení později v čase, mohou být ovlivněni prostorovou konkurencí ostatních jedinců a to převážně zastíněním a významně tak snížit celkový přírůstek biomasy na sledovanou plochu, jak je všeobecně akceptováno (Farrell, 1991).

Nedostatek vody a živin (dusíku a fosforu) má za následek vyšší hmotnost rostlinné biomasy v kořenech rostliny, pomalejší růst listů a jejich menší plochu (Broadley, 2000; AlKhader a Rayyan, 2013). V důsledku toho bylo očekáváno, že specifická plocha listu se bude lišit na škále zrnitosti a to s nižšími hodnotami pro hrubozrnné substráty. Tento trend nebyl pozorován s výjimkou smělku, kde byla opravdu změřena signifikantně nižší hodnota SLA pro nejhrubší frakci. Důvody tohoto zjištění mohou být následující. Zprvu se jedná o metodu, která je primárně určená pro měření SLA listů dřevin, tedy pro listy s mnohem větší plochou (Chaudhary et al., 2012), tudíž je tato metoda pro menší plochy daleko senzibilnější k chybě. Pokud vezmeme v úvahu reprezentativnost výsledků, druhým důvodem může být opravdu neměřitelný rozdíl napříč frakcemi vzhledem k absolutní limitaci živin v substrátu.

Dostupnost vody pro rostliny taktéž stoupá s jemnozrnností substrátu a pro frakce 0-4 a 0-4j mm je více než trojnásobná než pro frakce 2-4 mm. Dostupnost vody přímo koreluje s hmotností nadzemní biomasy, neboť ta taktéž z frakce 2-4 na 0-4 a 0-4j mm dvou až trojnásobně stoupá. Objem vody v substrátu, který determinuje úspěšné uchycení vegetace je tedy okolo 8-9 %.

U směsí lze pozorovat lepší uchycení vegetace a dostupnost vody v substrátu pro směsi s 50% přídavkem jemnější frakce než u přídavku 10%, ačkoliv průkazný rozdíl je zachycen pouze u pelyňku a částečně lipnice. Je však zajímavé, že nezáleží na hrubosti základu (11-22, 8-16 a 4-8 mm), ale na poměrovém přídavku jemného zrna. Jsou tedy nalezeny důkazy k podpoření hypotézy 2 (*Úspěšné uchycení vegetace a dostupnost vody v substrátu tvořeném směsí různě velkých zrn bude ovlivněno podílem jemnější frakce nikoliv velikostí zrn hrubší frakce*). Nelze však dostatečně prokázat u všech rostlinných druhů. Co se týče hydrolimitů, směsi se liší taktéž s přídavkem 50% jemného zrna, nikoliv však mezi sebou.

Samotný experiment probíhal v umělých podmínkách, tudíž je nutno diskutovat jeho limity. Pokus, který probíhá ve skleníku, musí odolávat odlišným klimaticko-hydrologickým podmínkám než v experimentu *in situ*. Ve skleníku je nutno poukázat na jinou teplotu vzduchu, vlhkost, simulaci slunečního osvětlení, zálivku a hlavně interakci s okolím. Důležitým faktorem pro distribuci semen je vítr (Chambers, 1995). Ten přenáší semena i na delší vzdálenosti a díky němu je semeno schopno propadnout do nižších vrstev substrátu, což může zabránit vysychání semen na přímém slunečním záření.

Největším omezením experimentu lze uvažovat závlahu. Ve skleníku byla na květináče aplikována optimální zálivka, která se nesnaží simulovat průměrný příjem vody substrátu v důsledku deště, ale funguje jako maximální možná míra navlhčení substrátu. Díky tomu byla některá semena v experimentu schopna krátkodobě přežít i na vodní kapce usazené na povrchu substrátu, která by jinak ve venkovních podmínkách vyschla.

Experiment byl také limitován časem (sledování po dobu 11 týdnů) a nešlo tudíž hodnotit úspěch reprodukce. V případě rodu *Artemisia* rostliny potřebují za laboratorních podmínek ke vzklíčení 3 měsíce (Ferreira et al., 1995). Otázkou zůstává, které populace na frakcích by byly schopny vykvést a produkovat semena. Rostliny limitované suchem jsou menšího vzrůstu a produkují nižší počet menších semen, která nejsou schopna zachovat životaschopnou populaci (Zhang et al., 2011). V případě úspěchu reprodukce lze očekávat v průběhu času akumulaci organické hmoty a zlepšení podmínek pro růst a reprodukci. V umělých podmínkách jsou odumřelé části jediným zdrojem organické hmoty.

Pro další výzkum je doporučeno provést experiment *in situ* v přirozených podmínkách tak, aby limitace skleníkového pokusu byly vyloučeny. Taktéž by bylo vhodné experiment uchovat po delší časovou dobu, ideálně tak, aby bylinné druhy měly možnost se spontánně reprodukovat. S tím souvisí i načasování experimentu. Pochopitelně by bylo nutno zahájit experiment v jarním až letním období, tedy v době, která reprezentuje hlavní vegetační sezónu všech čtyř rostlinných druhů.

Důležitým výstupem z poznatků tohoto experimentu je aplikovatelnost na reálných stanovištích. Pokud vezmeme v úvahu prostor, který je určen ke spontánní sukcesi či k osetí a má hrubozrnnost mezi 4 až 22 mm v průměru, pak v zásadě příliš nezáleží na tomto základu. Je důležité, aby poměr přídatku jemnozrnné frakce, který se do těchto substrátů bude přidávat, byl alespoň 50%. 10% přídatek není dostatečný vzhledem k propadávání jemnozrnějšího substrátu skrz hrubozrnnější a ve výsledku vede ke ztrátě jeho vlastností. Dalším příkladem jsou prostory po těžbě či stavbě, které teprve vyžadují navezení substrátu. Pokud vezmeme v potaz, že se jedná o prostor po těžbě kamene, pak při výrobě vzniká odpad, který lze na tato stanoviště použít. Velkou výhodou může být využití hrubozrnnějších frakcí na základ substrátu, které bývají častější vzhledem k větší ekonomické náročnosti drtit kámen na jemnější frakce. Zhou et al. (2009) definovali hmotnostních 40 % hrubých zrn o průměru 10 až 30 mm v substrátu za pozitivní na dostupnost vody pro rostliny. Jinými slovy 60% objem jemné frakce v substrátu dokáže

poskytnout vhodné podmínky k uchycení vegetace. Práce Zhou et al. (2009) souhlasí s poznatky tohoto projektu.

5. Závěr

Byl zjištěn pokles úspěšnosti uchycení vegetace a pokles objemu dostupné vody pro rostliny s vzrůstajícím stupněm zrnitosti substrátu. Ačkoliv počet jedinců neprokazuje větší úspěšnost růstu na jemnějším substrátu, neboť rostliny nejsou limitovány prostorem, celková biomasa poukazuje na lepší životní podmínky na jemných frakcích. Dostupná voda pro rostliny v substrátu koreluje s přírůstkem biomasy, a proto je stanoven limit vody v substrátu na 8-9 %.

Uchycení vegetace a dostupnost vody v substrátu pro směsi s 50% přídavkem jemnější frakce je lepší než u přídavku 10%. Důležité je to, že nezáleží na velikosti frakce základu, nýbrž právě na procentu přídavku (10 a 50 %). Tento poznatek lze využít během rekultivací, kdy není nutno hrubozrnné substráty (průměr 4-22 mm) dále drtit na jemnější, stačí však dodat v příslušném poměru (> 50 %) jemnozrnný substrát (průměr < 4 mm).

Experiment, který probíhal v umělých podmínkách, je limitován celou řadou faktorů. Mezi nejvýznamnější je nutno řadit zálivku květináčů, kdy byl květináčům poskytován permanentní přísun vláhy. Pro další výzkum je doporučeno tento experiment provést *in situ*.

Zdroje

- AlKhader, A.M.F. a Rayyan, A.M.A. (2013) Improving water use efficiency of lettuce (*Lactuca sativa* L.) Using phosphorous fertilizers. *Springer Plus*, 2, 563.
- Begon, M., Harper, J.L. a Townsend, C.R. (1997) Ekologie: Jedinci, populace, společenstva. Nakladatelství UP, Olomouc.
- Beneš, J., Kepka, P. a Konvička, M. (2003) Limestone quarries as refuges for european xerophilous butterflies, *Conservation Biology*, 17(4), 1058-1069.
- Brady, N.C. a Weil, R.R. (2008) The Nature and Properties of Soils, Pearson, 975s, ISBN: 978-0-13-227938-3.
- Broadley, M.R., Escobar-Gutierrez, A.J., Burns, A. a Burns, I.G. (2000) What are the effects of nitrogen deficiency on growth components of lettuce? *New Phytologist*, 147, 519-526.
- Brouwer, J. a Anderson, H. (2000) Water holding capacity of ironstone gravel in a typic plinthoxeralf in southeast Australia, *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1603-1608.
- Cemex (2017a) *Lom Smrčí* [online] [cit. 2.1.2017]. Dostupné z <http://www.cemex.cz/lom-smrci.aspx>.
- Cemex (2017b) Rekultivace a podpora biodiverzity [online] [cit. 9.4.2017]. Dostupné z <http://www.cemex.cz/rekultivace-a-biodiverzita.aspx>.
- Cerdí, A. (2001) Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion, *European Journal of Soil Science*, 52, 59-68.
- Česká geologická služba (2016) Surovinové zdroje České republiky – nerostné suroviny, statistické údaje k roku 2015
- Chambers, J.C: (1995) Relationships between seed fates and seedling establishment in an alpine ekosystém, *Ecology*, 76(7), 2124-2133.
- Chapin, F.S., Walker, L.R., Fastie, C.L a Sharnan, L.C. (1994) Mechanisms of primary succession following deglaciation at Galcier Bay, Alaska, *Ecological Monographs*, 64(2), 149-175.
- Chaudhary, P., Godara, S., Cheeran, A.N. a Chaudhari, A.K. (2012) Fast and accurate method for leaf area measurement, *International Journal for Computer Applications*, 49(9), 22-25.
- Chen, Z., Yang, L., Jiang, Z., Li, C., Hu, X., Pang, L., Li, S. a Sun, H. (2013) Runoff-driven nitrogen and phosphorus dynamics of substrate material for rocky slope eco-engineering. *Ecological Engineering*, 51, 123-132.
- Chuman T. (2006): Příspěvek k poznání přirozené obnovy granodioritových lomů na Skutečsku. In: Prach K., Pyšek P., Tichý L. et al. (eds.): *Zprávy České Botanické Společnosti*, 41, Mater. 21, 111-115.
- Farrell, T.M. (1991) Models and mechanisms of succession: An example from a rocky intertidal community, *Ecological Monographs*, 61(1), 95-113.

- Ferreira, J.F.S., Simon, J.E. a Janick, J. (1995) Development studies of *Artemisia annua*: Flowering and artemisinin production under greenhouse and field, *Planta Medica*, 91, 167-170.
- Grubb, P.J. (1976) The maintenance of species-richness in plant communities: The importance of the regeneration niche, *Biological Reviews*, 5a, 107-145.
- Hagen, D., Hansen, T.I., Graae, B.J. a Rydgren, K. (2014) To seed or not to seed in alpine restoration: introduced grass species outcompete rather than facilitate native species, *Ecological Engineering*, 64, 255-261.
- Jiménez, M.N., Fernández-Ondoño, E., Ripoll, M.A., Castro-Rodríguez, J., Huntsinger, L. a Navarro, F.B. (2016) Stones and organic mulches improve the *Quercus ilex* L. afforestation success under Mediterranean climatic conditions, *Land Degradation & Development*, 27(2), 357-365.
- Jumpponen, A., Väre, H., Mattson, K.G., Rauni, O. a Trappe, J.M. (1999) Characterization of 'safe sites' for pioneers in primary succession on recently deglaciated terrain, *Journal of Ecology*, 87, 98-105.
- Kutiel, P.B., Ziso-Cohen, V., Divinsky, I. A Katra, I. (2016) Water availability in sand dunes and its implications for the distribution of *Artemisia monosperma*, *Catena*, 137, 144-151.
- Lincoln, S.F. (2005) Fossil fuels in the 21st century, *Ambio*, 34, 621-627.
- Martínez-Ruiz, C., Fernández-Santos, B. a Gómez-Gutiérrez, J.M. (2001) Effects of substrate coarseness and exposure on plant succession in uranium-mining waste, *Plant Ecology*, 155, 79-89.
- Moles, A.T. a Westoby, M. (2004) Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature, *Journal of Ecology*, 92(3), 372-383.
- Novák J. (2006) Variabilita sukcesních změn vegetace v čedičových lomech Českého středohoří. In: Prach K., Pyšek P., Tichý L. et al. (eds.) *Zprávy České Botanické Společnosti*, 41, Mater. 21, 105-110.
- Novák, J., Prach, K. (2003) Vegetation succession in basalt quarries: Pattern on a landscape scale, *Vegetation Science*, 6, 111-116.
- Novák, V. a Šurda, P. (2010) The water retention of a granite rock fragments in High Tatras stony soils, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 58(3), 181-187.
- Odland, A. a Skjerdal, G. (1998) Langtidseffekter av ulike handsamingar for vegetasjonutviklinga på ein steintipp, Norg. tekn.-naturvit. Univ. VitenskMus. Rapp. Bot, 1998, 38-51. In: Rydgren, K., Halvorsen, R., Auestad, I. A Hamre, L.N. (2013) Ecological design is more important than compensatory mitigation for successful restoration of alpine spoil heaps, *Restoration Ecology*, 21(1), 17-25.
- Peltzer, D.A. a Kochy, M. (2001) Competitive effects of grasses and woody plants in mixed-grass prairie, *Journal of Ecology*, 89, 519-527.
- Petrů, A. (2014) Potenciál přírodě blízké obnovy po těžbě kameniva na příkladu lomu Smrčí. Bakalářská práce. Karlova Univerzita.

Plaster, E.J. (2014) Soil science and management, Delmar, 520s, ISBN: 978-0-8400-2438-1.

Poesen, J a Lavee, H. (1994) Rock fragments in top soils: Significance nad processes, *Catena*, 23, 1-28.

Prach, K., Bartha, S., Joyce, C., Pyšek, P., van Diggelen, R. a Wiegleb, G. (2001) The role of spontaneous vegetation succession in ecosystem restoration: A perspective. *Applied Vegetation Science*, 4(1), 111-114.

Prach, K., Lencová, K., Řehouňková K., Dvořáková, H., Jírová, A., Konvalinková, P., Mudrák, O., Novák, J. a Trnková R. (2013): Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across seres, *Environmental Science and Pollution Research International*, 20(11), 7680-7685.

Prach, K., Řehouňková, K., Řehounek, J. a Konvalinková, P. (2011) Ecological restoration of central European mining sites: A summary of a multi-site analysis, *Landscape Research*, 36(2), 263-268.

Puerto, A., Rico, M., García, J.A a Gómez, B. (1982) La Diversidad II: tendencias encontradas para tres series de la sucesión cultivo-pastizal en la zona de dehesas de la provincia de Salamanca, *Salamanca Revista Provincial de Estudios*, 14, 219-242. In: Martínez-Ruiz, C., Fernández-Santos, B. a Gómez-Gutiérrez, J.M. (2001) Effects of substrate coarseness and exposure on plant succession in uranium-mining waste, *Plant Ecology*, 155, 79-89.

Rydgren, K., Halvorsen, R., Odland, A. a Skjerdal, G. (2011) Restoration of alpine spoil heaps: Successional rates predict vegetation recovery in 50 years, *Ecological Engineering*, 37, 294-301.

Rydgren, K., Halvorsen, R., Auestad, I. A Hamre, L.N. (2013) Ecological design is more important than compensatory mitigation for successful restoration of alpine spoil heaps, *Restoration Ecology*, 21(1), 17-25.

Řehouňková, K. (2006) Spontánní sukcese vegetace ve štěrkopískovnách: možnost pro ekologickou obnovu. In: Prach, K., Pyšek, P., Tichý, L. et al. (eds.): *Zprávy České Botanické Společnosti*, 41, Mater. 21, 125-133.

Schulz, F. a Wiegleb, G. (2000) Development options of natural habitats in a post-mining landscape, *Land Degradation & Development*, 11, 99-110.

Štýs, S. et al. (1981) Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha.

Štýs, S. a Braniš, M. (1999) Czech school of land reclamation. *Acta Universitatis Carolinae, Environmentalica*, 13(1-2), 99-109.

Tropek, R., Tichý, L., Prach K. a Řehounek, J. (eds.) (2010): Kamenolomy. In: Řehounek, J., Řehouňková, K., Prach, K. (eds.): *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. Calla, České Budějovice.

Walker, L.R. (1999) *Ecosystems of disturbed land*. Elsevier, New York.

Wang, Z.Q., Wu, L.H. a Liu, T.T. (2009) Revegetation of steep rocky slopes: Planting climbing vegetation species in artificially drilled holes. *Ecological Engineering*, 35(7), 1079-1084.

Wheater, C.P. a Cullen, W.R. (1997) The flora and invertebrate fauna of abandoned limestone quarries in Derbyshire, United Kingdom. *Society for Ecological Restoraion*, 5(1), 77-84.

Wiegleb, G. A Felinks, B. (2001) Primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusatia – chance or necessity, *Ecological Engineering*, 17(2-3), 199-217.

Zákon č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 19.4.1988.

Zhang, Y., Zhang, M., Niu, J., Li, H., Xiao, R., Zheng, H. a Bech, J. (2016) Rock fragments and soil hydrologival processes: Significance and proces, *Catena*, 147, 153-166.

Zhou, B., Ming'an, S. a Hongbo, S. (2009) Effects of rock fragments on water movement and solute transport in a Loess Plateau soil, *Comptes Rendus Geoscience*, 341(6), 462-472.

Zhang, H., DeWald, L.E., Kolb, T.E. a Koepke, D.G. (2011) Genetic variation in ecophysiological and survival responses to drought in two native grasses: *Koeleria macrantha* and *Elymus elymoides*, *Western North America Naturalist*, 71(1), 25-32.